

Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu - NCCI 7

SILTOJEN JA POHJARAKENTEIDEN SUUNNITTELUOHJEET

Eurokoodin soveltamisohje Geotekninen suunnittelu – NCCI 7

Siltojen ja pohjarakenteiden suunnitteluohjeet
10.6.2011

Liikenneviraston ohjeita 12/2011

Kannen kuva:

Verkkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-663X

ISSN 1798-6648

ISBN 978-952-255-692-9

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 020 637 373

Investointitoimiala

Vastaanottaja

ELY-keskusten Liikenne- ja infrastruktuuri - vastuualueet,
Liikenneviraston Investointi ja Kunnossapito – toimialat

Korvaa/muuttaa

Eurokoodin soveltamisohje

Geotekninen suunnittelu – NCCI 7, LO 32 2010/28.12.2010

Voimassa

1.7.2011 - toistaiseksi

Asiasanat

ohjeet, eurokoodi, geotekninen suunnittelu, sillasuunnittelu, sillat, pohjarakenteet, pohjarakennus

Eurokoodin soveltamisohje. Geotekninen suunnittelu – NCCI 7

Tätä eurokoodi 7:n ja sen kansallisen liitteen soveltamisohjetta käytetään yleisten teiden, ratojen ja vesiväylien sekä niihin liittyvien rakenteiden kuten siltojen suunnittelussa. Lisäksi ohjetta käytetään niiden yksityisteiden suunnittelussa, jotka saavat rakentamiseen valtion avustusta.

Eurokoodeja käytetään pääsääntöisesti vain uudisrakentamisessa mutta niitä voidaan käyttää soveltaen myös korjauskohteissa, mikäli se on tarkoituksenmukaista ja siitä on suunnitteluun ryhdyttäessä tehty päätös.

Siltojen osalta soveltamisohjetta käytetään pienten ja keskisuurten tavanomaisten siltojen (sillan kokonaismitta < 200 m) eurokoodin mukaiseen suunnitteluun. Erikoissilloille (Esim. köysisillat) ja pidemmille silloille voidaan tätä soveltamisohjetta käyttää Liikenneviraston hankekohtaisten lisämääräysten kanssa.

Tämä 10.6.2011 päivätty versio korvaa 28.12.2010 päivätyn version. Pääasialliset muutokset ja tarkistukset on lueteltu esipuheessa.

Yksikön päällikkö
Taitorakentaminen
Antti Rytönen

Geoasiantuntija


Pentti Salo

LISÄTIETOJA

Pentti Salo ja Heikki Lilja

Liikennevirasto, Investointitoimiala, puh. 020 637 373

OHJE SAATAVISSA LIIKENNEVIRASTON NETTISIVULTA OSOITTEESTA

www.liikennevirasto.fi/ohjeluettelo

TIEDOKSI Suunnittelu- ja konsulttitoimistojen liitto SKOL
Rakennusteollisuus RT
Infra ry
Suomen Kuntaliitto
Tekniset yliopistot/korkeakoulut ja ammattikorkeakoulut
VTT
G10 -kaupungit
Tie- ja geokonsultit
Ohjeen laatijat ja työhön osallistuneet asiantuntijat
Liikenneviraston investointi- ja kunnossapitotoimialan osastot, kirjasto
Rakennuttamisosaston ja Väylätekniikkaosaston yksiköt
Liikenneviraston ja ELY-keskusten geoasiantuntijat

Esipuhe

Eurokoodit ja liikenne- ja viestintäministeriön niihin laatimat kansalliset liitteet ovat korvanneet aiemman siltojen ja pohjarakenteiden suunnittelussa käytetyn ohjejärjestelmän 1.6.2010 lukien.

Tämä soveltamisohje antaa ohjeita suunnittelijalle eurokoodien tulkintaan sekä esittää menetelmiä, joilla eurokoodien vaatimustaso täytetään. Ohjeesta on tehty tarkoituksellisesti mahdollisimman pelkistetty ja oppikirjamainen. Ohjetta pitää käyttää rinnakkain eurokoodistandardin SFS-EN 1997-1 sekä sen kansallisen liitteen kanssa.

Suomessa eurokoodit julkaisee Suomen standardisoimisliitto SFS. Liikenne- ja viestintäministeriön ohjeinaan julkaisemat kansalliset liitteet ovat saatavissa mm. Liikenneviraston internet-sivuilla.

Tämä on soveltamisohjeen versio 10.6.2011. Verrattuna versioon 28.12.2010 muutoksia ja tarkistuksia on tehty pääasiassa seuraaviin kohtiin:

- kohta 4.4.1 Maantieliikenne
- kohta 4.9 Kuormien yhdistely (aikaisemmin kohta 4.8)
- kohta 5.2 Paaluperustukset
- kohta 5.3 Ankkurointi
- kohta 5.4.1.5 Taipuisan tukiseinän mitoitus

Lisäksi muihin kohtiin ja liitteisiin on tehty lukuisa joukko pienehköjä muutoksia ja tarkistuksia.

Soveltamisohje on toteutettu Liikenneviraston investointitoimialan tilaamana konsulttityönä Insinööritoimisto Pontek Oy:n ja Insinööritoimisto Arcus Oy:n toimesta vuosien 2010–2011 aikana.

Helsingissä kesäkuussa 2011

Liikennevirasto/Investointi
Taitorakentaminen -yksikkö

Sisällysluettelo

1	YLEISTÄ	8
1.1	Soveltamisala	8
1.2	Ohjeen rajaus	8
1.3	Merkinnät	8
2	LUOKITUKSET	16
2.1	Geotekniset luokat	16
2.2	Seuraamusluokat	16
3	MITOITUSMENETTELY	17
3.1	Ohjeellisiin sääntöihin perustuva mitoitus	17
3.2	Koekuormitukseen perustuva mitoitus	17
3.3	Seurantamenetelmät	17
3.4	Laskelmiin perustuva mitoitus	17
3.4.1	Kuormat	17
3.4.2	Kuormien vaikutukset	19
3.4.3	Maan ominaisuudet	20
3.4.4	Kestävyys	20
3.4.5	Geometria	22
3.4.6	Rajatilat, mitoitustavat ja varmuuksien kohdentaminen	22
3.4.7	Käyttörajatila	28
4	KUORMAT	29
4.1	Mitoitustilanteet	29
4.2	Edullinen ja epäedullinen kuorma	29
4.3	Vedenpaine	30
4.4	Liikennekuormat	32
4.4.1	Maantieliikenne	32
4.4.2	Raideliikenne	33
4.5	Maanpaine	34
4.6	Maanpaine	34
4.6.1	Yleistä	34
4.6.2	Aktiivipaine	35
4.6.3	Lepopaine	35
4.6.4	Passiivipaine	35
4.7	Paalujen negatiivinen vaippahankaus	36
4.8	Sysäys	36
4.8.1	Tiesillat	36
4.8.2	Rautatiesillat	36
4.9	Kuormien yhdistely	37
4.9.1	Maantieliikenne	37
4.9.2	Raideliikenne	40
5	MITOITUS PERUSTAMISTAVOITTAIN	45
5.1	Antura- ja laattaperustukset	45
5.1.1	Kallionvarainen perustaminen	45
5.1.2	Maanvarainen perustaminen	47
5.2	Paaluperustukset	49

5.2.1	Yleistä	49
5.2.2	Tukipaalu	50
5.3	Ankkurointi	57
5.3.1	Murtorajatila STR/GEO DA2	57
5.3.2	Käyttörajatila	58
5.4	Maanpainerakenteet	58
5.4.1	Murtorajatila	58
5.4.2	Käyttörajatila	64
5.5	Luiskat ja maanvaraiset penkereet	64
5.5.1	Murtorajatila STR/GEO DA3	65
5.5.2	Käyttörajatila	65
5.6	Hydraulinen murtuminen	66
5.6.1	Virtauspaineen aiheuttama hydraulinen murtuminen HYD	66
5.6.2	Nosteen aiheuttama murtuminen UPL	67
5.7	Syvästabilointi	70
5.7.1	Pohjavahvistuksena toimivat pilarit	70
5.7.2	Pohjarakenteena toimivat pilarit	70

LIITTEET

LIITE 1 OSAVARMUUSLUVUT

LIITE 2 MAANPAINEKERTOIMET

LIITE 3 MAANPAINEEN MOBILISOITUMINEN

LIITE 4 KANTOKESTÄVYYS

LIITE 5 PAALULAATAN KUORMAT ERI Pengerkoekeuksilla

LIITE 6 MAANTIESILTOJEN KUORMIEN YHDISTELY (vrt. kohta 4.8.1)

LIITE 7 RAIDELIIKENTEEN SILTOJEN KUORMIEN YHDISTELY (vrt kohta 4.8.2)

LIITE 8 LASKUESIMERKIT

- Laskuesimerkki 1: Maanvarainen sillan välituki
- Laskuesimerkki 2: Kallionvarainen sillan välituki
- Laskuesimerkki 3: Paaluille perustettu sillan välituki
- Laskuesimerkki 4: Ratapenger savikolla
- Laskuesimerkki 5: Ratapenger silttisellä pohjamaalla
- Laskuesimerkki 6: Tiehen rajoittuva työnaikainen tukiseinä savikolla

1 Yleistä

1.1 Soveltamisala

Tässä soveltamisohjeessa käsitellään EN 1997-1 ja sen kansallisen liitteen soveltamista tie ja rautatiekohteissa. EN 1997-1 on velvoittava vain uusien pohjarakenteiden osalta. Soveltamisohjetta voidaan soveltaa myös korjauskohteissa, mikäli se on taroituksenmukaista.

1.2 Ohjeen rajaus

Tässä ohjeessa käsitellään EN 1997-1 ja sen LVM:n kansallisen liitteen soveltamista tavanomaisissa väylähankkeissa. Tavanomaisesta poikkeavat rakenteet saattavat vaatia menettelytapoja, joita ei ole tässä soveltamisohjeessa käsitelty. Tällöin suunnittelijan pitää tukeutua suoraan EN 1997-1 ja sen kansalliseen liitteeseen.

Tässä soveltamisohjeessa käsitellään vain satunnaisesti ominaisarvojen määrittystä. Pääpaino on ominaisarvojen määrittelyn jälkeisessä prosessissa eli EN 1997-1 ja sen LVM:n kansallisen liitteen mukaisessa varmuusmenettelyssä. Laskentamenetelmien ja parametrien määrittelyn osalta suunnittelijan pitää tukeutua alan muuhun kirjallisuuteen.

1.3 Merkinnät

Standardissa EN-1997-1 käytetään seuraavia merkintöjä.

Latinalaiset kirjaimet

A'	tehokas pohjan ala
A_b	paalun pohjan ala
A_c	pohjan kokonaisala puristuksessa
$A_{s,i}$	paalun vaipan pinta-ala kerroksessa i
a_d	mittatiedon mitoitusarvo
a_{nom}	mittatiedon nimellisarvo
Δa	nimellisiin mittatietoihin tehty muutos tiettyjä mitoitusarvoja varten
b	perustuksen leveys
b'	perustuksen tehokas leveys

C_d	rajoittava mitoitusarvo kuorman vaikutukselle
c	koheesio
c'	tehokas koheesio
C_u	suljettu leikkauslujuus
$C_{u;d}$	suljetun leikkauslujuuden mitoitusarvo
d	perustamissyvyys
E_d	kuormien vaikutuksen mitoitusarvo
$E_{stb;d}$	vakauttavien kuormien vaikutuksen mitoitusarvo
$E_{dst;d}$	kaatavien kuormien vaikutuksen mitoitusarvo
$F_{c;d}$	paaluun tai paaluryhmään kohdistuvan aksiaalisen puristuskuorman mitoitussarvo
F_d	kuorman mitoitusarvo
F_k	kuorman ominaisarvo
F_{rep}	kuorman edustava arvo
$F_{t;d}$	vetopaaluun tai vetopaaluryhmään kohdistuvan aksiaalisen vetokuorman mitoitussarvo
$F_{tr;d}$	paaluun tai paaluperustukseen kohdistuvan poikittaisen kuorman mitoitussarvo
$G_{dst;d}$	kaatavien pysyvien kuormien mitoitusarvo nosteelle mitoitettaessa
$G_{kj,sup}/G_{kj,inf}$	Pysyvän kuorman j ominaisarvon ylä-/alaraja
$G_{stb;d}$	vakauttavien pysyvien pystysuorien kuormien mitoitusarvo nosteelle mitoitettaessa
$G'_{stb;d}$	vakauttavien pysyvien pystysuorien kuormien mitoitusarvo maan hydraulista nousua vastaan mitoitettaessa (paino vedessä)
H	vaakasuora kuorma tai kokonaiskuorman komponentti, joka vaikuttaa perustustason suunnassa
H_d	H :n mitoitusarvo
h	seinän korkeus
h	vedenkorkeus hydraulista nousua tarkasteltaessa

h'	maaprisman korkeus mitoitettaessa hydraulista nousua vastaan
$h_{w;k}$	hydrostaattisen vedenpaine korkeuden ominaisarvo maaprisman pohjalla
K_o	maan lepopaine kerroin
$K_{o;\beta}$	maan lepopaine kerroin, kun tuettu maanpinta on kaltevuuskulmassa β vaakatasoon suhteen
k	suhde $\delta_d / \varphi_{cv;d}$
l	perustuksen pituus
l'	tehokas perustuksen pituus
n	esimerkiksi paalujen tai koe profiilien lukumäärä
P	ankkurointiin kohdistuva kuorma
P_d	P :n mitoitusarvo
P_p	injektoidun ankkuroinnin koe(veto)kuorma soveltuvuuskokeessa
$Q_{dst;d}$	kaatavien muuttuvien pystysuorien kuormien mitoitusarvo nosteelle mitoitettaessa
$Q_{k,1}$	Määrävän muuttuvan kuorman 1 ominaisarvo
$Q_{k,i}$	Muun samanaikaisen muuttuvan kuorman 1 ominaisarvo
$q_{b;k}$	(paalun) pohjapaineen ominaisarvo
$q_{s;i;k}$	vaippakitkan ominaisarvo kerroksessa i
R_a	ankkuroinnin ulosvetokestävyyden ominaisarvo
$R_{a;d}$	R_a :n mitoitusarvo
$R_{a;k}$	R_a :n ominaisarvo
$R_{b;cal}$	paalun kärkikestävyyden laskettu arvo pohjatutkimustuloksista murtorajatilassa
$R_{b;d}$	paalun kärkikestävyyden mitoitusarvo
$R_{b;k}$	paalun kärkikestävyyden ominaisarvo
R_c	paalun geotekninen puristuskestävyys murtorajatilassa
$R_{c;cal}$	R_c :n laskettu arvo
$R_{c;d}$	R_c :n mitoitusarvo
$R_{c;k}$	R_c :n ominaisarvo

$R_{c;m}$	R_c :n mitattu arvo yhden tai usean paalun koekuormituksessa
R_d	kestävyyden mitoitusarvo
$R_{p;d}$	perustuksen sivuun kohdistuvasta maanpaineesta aiheutuvan vastustavan voiman mitoitusarvo
$R_{s;d}$	paalun vaippakestävyyden mitoitusarvo
$R_{s;cal}$	vaippakitka laskettuna maaparametrien koetuloksista (murtorajatilassa)
$R_{s;k}$	paalun vaippakestävyyden ominaisarvo
R_t	yksittäisen paalun vetokestävyys (murtorajatilassa)
$R_{t;d}$	paalun tai paaluryhmän vetokestävyyden mitoitusarvo, tai ankkurin rakenteellisen vetokestävyyden mitoitusarvo
$R_{t;k}$	paalun tai paaluryhmän vetokestävyyden ominaisarvo
$R_{t;m}$	yksittäisen paalun mitattu vetokestävyys yhden tai usean paalun koekuormituksessa
R_{tr}	paalun kestävyys poikittaisille kuormille (murtorajatilassa)
$R_{tr;d}$	poikittaisessa suunnassa kuormitetun paalun kestävyden mitoitusarvo
$S_{dst;d}$	kaatavan suotovirtausvoiman mitoitusarvo maassa
$S_{dst;k}$	kaatavan suotovirtausvoiman ominaisarvo maassa
s	painuma
S_o	välitön painuma
S_1	konsolidaatiopainuma
S_2	viruman aiheuttama painuma (sekundäärinen painuma)
T_d	kokonaisleikkauskestävyyden mitoitusarvo, joka kehittyy sen maablokin ympärillä mihin vetopaaluryhmä on asennettu tai maan kanssa kontaktissa olevassa rakenteen osassa
u	huokosvedenpaine
$u_{dst;d}$	kaatavan kokonaishuokosvedenpaineen mitoitusarvo
V	pystysuora kuorma tai se kokonaiskuorman komponentti, joka vaikuttaa kohdistuoraan perustuksen pohjaa vastaan
V_d	V :n mitoitusarvo

V'_d	tehokkaan pystysuoran kuorman tai kohtisuoraan perustuksen pohjaa vastaan vaikuttavan kokonaiskuorman komponentin mitoitusarvo
$V_{dst;d}$	rakenteeseen kohdistuvan kaatavan pystysuoran kuorman mitoitusarvo
$V_{dst;k}$	rakenteeseen kohdistuvan kaatavan pystysuoran kuorman ominaisarvo
X_d	materiaaliominaisuuden mitoitusarvo
X_k	materiaaliominaisuuden ominaisarvo
Z	pystysuora etäisyys

Kreikkalaiset kirjaimet

α	perustuksen pohjan kaltevuus vaakatason suhteen
β	maan kaltevuuskulma seinän takana (ylöspäin positiivinen)
δ	rakenteen ja maan välinen kitkakulma
δ_d	δ :n mitoitusarvo
γ	tilavuuspaino
γ'	tehokas tilavuuspaino
γ_a	ankkurointien osavarmuusluku
$\gamma_{a;p}$	pysyvien ankkurointien osavarmuusluku
$\gamma_{a;t}$	tilapäisten ankkurointien osavarmuusluku
γ_b	paalun kärkikestävyys osavarmuusluku
γ_c'	tehokkaan koheesion osavarmuusluku
γ_{cu}	suljetun leikkauslujuuden osavarmuusluku
γ_E	kuorman vaikutuksen osavarmuusluku
γ_f	kuormien osavarmuusluku, jossa otetaan huomioon kuormien mahdollisuus poiketa epäedulliseen suuntaan edustavista arvoista
γ_F	kuorman osavarmuusluku
γ_G	pysyvän kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{G;dst}$	pysyvän kaatavan kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{G;stb}$	pysyvän vakauttavan kuorman osavarmuusluku
γ_m	maaparametrin (materiaaliominaisuuden) osavarmuusluku
$\gamma_{m;i}$	maaparametrin osavarmuusluku kerroksessa i
γ_M	maaparametrin (materiaaliominaisuuden) osavarmuusluku, ottaa huomioon myös mallin epävarmuudet
γ_Q	muuttuvan kuorman osavarmuusluku
γ_{qu}	yksiaksiaalisen puristuslujuuden osavarmuusluku
γ_R	kestävyyden osavarmuusluku
$\gamma_{R;d}$	kestävyydshallin epävarmuuden osavarmuusluku

$\gamma_{R,e}$	maan kestävyysden osavarmuusluku
$\gamma_{R,h}$	liukumiskestävyysden osavarmuusluku
$\gamma_{R,v}$	kantokestävyysden osavarmuusluku
γ_s	paalun vaippakestävyysden osavarmuusluku
$\gamma_{S,d}$	kuormien vaikutusten mallintamisen epävarmuuden osavarmuusluku
$\gamma_{Q,dst}$	hydraulisen murtuman aiheuttavan kaatavan kuorman osavarmuusluku
$\gamma_{Q,stab}$	hydraulista murtumaa vastaan vakauttavan kuorman osavarmuusluku
γ_{Qi}	Muuttuvan kuorman i osavarmuusluku
$\gamma_{s,t}$	paalun vetokestävyysden osavarmuusluku
γ_t	paalun kokonaiskestävyysden osavarmuusluku
γ_w	veden tilavuuspaino
γ_φ'	leikkauskestävyyskulman (sisäisen "kitkakulman") osavarmuusluku ($\tan \varphi'$)
γ_γ	tilavuuspainon osavarmuusluku
θ	H:n suuntakulma
ξ	koestettujen paalujen tai koeprofiilien lukumäärästä riippuva korrelaatiokerroin
ξ_a	ankkurointien korrelaatiokerroin
$\xi_1; \xi_2$	korrelaatiokertoimet paalujen staattisten koekuormitusten tulosten arvioimiseen
$\xi_3; \xi_4$	korrelaatiokertoimet paalun kestävyysden johtamiseksi pohjatutkimustuloksista, ilman paalun koekuormituksia
$\xi_5; \xi_6$	korrelaatiokertoimet paalun kestävyysden johtamiseksi dynaamisista koekuormituksista
ψ	kerroin ominaisarvon muuntamiseksi edustavaksi arvoksi
$\sigma_{stab,d}$	vakauttavan pystysuoran kokonaisjännityksen mitoitusarvo
$\sigma'_{h;0}$	maan tehokkaan lepopaineen vaakasuora komponentti
$\sigma(z)$	jännitys kohtisuoraan seinää vastaan syvyydellä z
$\tau(z)$	seinän tangentin suuntainen jännitys syvyydellä z
φ'	leikkauskestävyyskulma ("kitkakulma") tehokkaiden jännitysten perusteella

φ_{cv} kriittisen tilan leikkauskestävyysskulma

$\varphi_{cv;d}$ φ_{cv} :n mitoitusarvo

φ'_d φ' :n mitoitusarvo

Lyhenteet

CFA CFA-paalu (minikaivinpaalu Auger-menetelmällä)

OCR ylikonsolidoitumissuhde

HUOM.1 Kaikissa eurokoodeissa yhteisesti käytetyt merkinnät on määritelty EN 1990:2002:ssa.

HUOM.2 Käytetty merkintäjärjestelmä perustuu standardiin ISO 3898:1997.

Geoteknisiin laskelmiin suositellaan seuraavia yksiköitä tai niiden monikertoja:

- | | |
|---------------------------------------|-------------------|
| • voima | kN |
| • massa | kg |
| • momentti | kNm |
| • tiheys | kg/m ³ |
| • tilavuuspaino | kN/m ³ |
| • jännitys, paine, lujuus ja jäykkyys | kPa |
| • läpäisevyyskerroin | m/s |
| • konsolidaatiokerroin | m ² /s |

2 Luokitukset

2.1 Geotekniset luokat

Geoteknisellä luokalla on vaikutusta lähinnä tarvittavien pohjatutkimusten määrään.

Rakenne kuuluu geotekniseen luokkaan 1 mikäli kaikki seuraavat asiat toteutuvat:

- rakenne on yksinkertainen
- maapohja on kitkamaata tai ollaan kalliolla
- vakavuuden suhteen ei ole riskiä
- siirtymien tai painumien suhteen ei ole riskiä

Rakenne kuuluu geotekniseen luokkaan 2, mikäli se on tavanomainen eikä pohjamaahan liity tavallisuudesta poikkeavia riskejä.

Tyypillisiä esimerkkejä (GL2) ovat: maanvaraiset anturaperustukset, paaluperustukset, seinät ja muut maata tai vettä pidättävät rakenteet, leikkaukset, penkereet, tavanomaiset siltojen väli- ja maatuet sekä ankkurit.

Rakenne kuuluu geotekniseen luokkaan 3, mikäli se ei kuulu luokkaan 1 tai 2. Tyypillisiä esimerkkejä ovat: Erittäin suuret tai epätavalliset rakenteet, rakenteet, joihin liittyy normaalista poikkeavia riskejä, rakenteet, joissa on epätavallisen vaikeat pohja- tai kuormitusolosuhteet ja rakenteet, jotka suunnitellaan alueelle, jonka maamassat ovat lähtötilanteessa liikkeessä.

2.2 Seuraamusluokat

Taulukko 2.1 Eurokoodin seuraamusluokat

Seuraamusluokka	Kuvaus
CC3	Suuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai hyvin suurten taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia
CC2	Keskisuuret seuraamukset ihmishenkien menetysten tai merkittävien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia
CC1	Vähäiset seuraamukset ihmishenkien menetysten tai pienten tai merkityksettömien taloudellisten, sosiaalisten tai ympäristövahinkojen takia

Seuraamusluokassa CC2 kuormakerroin K_{FI} on 1,0. Mikäli seuraamusluokka on muu kuin CC2, määritetään se hankekohtaisesti.

3 Mitoitusmenettely

3.1 Ohjeellisiin sääntöihin perustuva mitoitus

Mitoitustilanteissa, joissa ei ole käytettävissä laskentamallia tai se on tarpeeton, voidaan mitoitus tehdä vertailukelpoisen kokemuksen perusteella. Tällöin mitoitus tehdään käyttäen ohjeiden mukaisia konservatiivisia ratkaisuja. Menettelyä käytetään yleensä vain geoteknisessä luokassa 1 ja seuraamusluokassa CC1.

3.2 Koekuormitukseen perustuva mitoitus

Mitoituksessa tulee huomioida:

- pohjaolosuhteiden ja mittakaavan aiheuttamat erot kokeen ja todellisen rakenteen välillä
- kokeen suoritusajan ja -nopeuden sekä jännitystason vaikutukset

3.3 Seurantamenetelmät

Mikäli geoteknisen käyttäytymisen ennustaminen laskennallisesti on vaikeaa tai epävarmaa, voidaan laskennallista mitoitusta täydentää työnaikaisilla seurantamittauksilla. Suunnitelmassa pitää määrittää mittaukset, niiden suoritus sekä tulosten toimitus ja käsittely. Suunnitelmassa pitää olla myös hälytysrajat sekä toimenpiteet rajan ylittyessä.

3.4 Laskelmiin perustuva mitoitus

Tässä kappaleessa käsitellään Eurokoodi 7 mukaisen laskelmiin perustuvan mitoituksen perusteita yleisesti.

3.4.1 Kuormat

Kuormat (F) ovat tarkasteltavaan kohteeseen vaikuttavia ulkoisia tai sisäisiä voimia tai jännityksiä. Kuormat jaetaan pysyviin (G) ja muuttuviin kuormiin (Q). Lisäksi kuorma on joko kaatava tai vakauttava.

Kuorman ominaisarvosta saadaan sen edustava arvo kertomalla se yhdistelykertoimella ψ . Pysyvien kuormien osalta ψ on aina 1,0. Muuttuvien kuormien osalta ψ on yhtä suuri tai pienempi kuin 1,0. Kuormien yhdistelyssä ei huomioida vakauttavia muuttuvia kuormia.

Eurokoodissa ei käytetä yhdistelykertoimelle arvoa 1,0, vaan määräävä muuttuva kuorma ja pysyvät kuormat otetaan kuormitusyhdistelmiin mukaan aina ominais-

arvollaan. Käytännössä tämä vastaa samaa kuin, että em. kuormien yhdistelykerroin olisi 1,0.

Toisin sanoen Eurokoodien mukaisissa kuormitusyhdistelmissä yhdistelykertoimella, joka on aina pienempi kuin 1,0, kerrotaan vain muut kuormat kuin pysyvät kuormat tai määräävä muuttuva kuorma.

Kuorman edustavasta arvosta saadaan mitoitusarvo kertomalla se kuorman osavarmuusluvulla γ_F .

Kuorman edustava arvo on murtorajatilán yhdistelyissä ja käyttörajatilán ominaisyhdistelmässä aina määräävälle muuttuvalle kuormalle ominaisarvo ja muille muuttuville kuormille yhdistelyarvo, jolloin yhdistelykerroin $\psi = \psi_0$.

Käyttörajatilán tavallista yhdistelmää laskettaessa määräävän muuttuvan kuorman edustava arvo on kuorman tavallinen arvo, jolloin yhdistelykerroin $\psi = \psi_1$ ja muiden muuttuvien kuormien edustava arvo on pitkäaikainen arvo, jolloin yhdistelykerroin $\psi = \psi_2$.

Pitkäaikaisyhdistelmässä kaikkien muuttuvien kuormien edustava arvo on pitkäaikaisarvo, jolloin mukana ovat vain ne muuttuvat kuormat, joille yhdistelykerroin $\psi = \psi_2 \neq 0$.

Kuva poistettu

3.4.2 Kuormien vaikutukset

Kuormien vaikutuksilla (E) tarkoitetaan kuormista seuraavia laskennallisia voimia, momentteja, jännityksiä ja muodonmuutoksia. Näitä ovat esim. pohjapaineet, tukiseinän ankkurivoimat ja tukiseinän taivutusmomentti.

”Kuormien aiheuttama vaikutus rakenneseinään (esim. kunkin poikkileikkauksen voimasuureet eli voima ja momentti, edelleen jännitys ja muodonmuutos) tai vaikutus koko rakenteeseen (esim. taipuma ja kiertymä)” /SFS-EN 1990, 1.5.3.2 /

Rakenteiden suunnittelussa voidaan yleensä kuormien vaikutukset laskea pelkästään kuormien ja rakenteen mittojen perusteella. Geoteknisessä mitoituksessa kuormien vaikutukset ovat kuitenkin yleensä kuormien ja rakenteen mittojen lisäksi materiaalin lujuusominaisuuksien funktioita. Esimerkiksi ulkoisesta kuormasta (F) aiheutuva maanpaine (E) riippuu maan lujuusominaisuuksista. Tämä kuormien vaikutusten ja materiaalin lujuuden riippuvuus monimutkaistaa osavarmuusmenettelyn soveltamista geotekniikassa suhteessa muuhun rakennesuunnitteluun.

Kuvassa 3.2 on havainnollistettu Eurokoodi 7:n tapaa käsitellä kuormia ja kuormien vaikutuksia.

Kuva poistettu

Kuva 3.2 Vaihtoehtoiset tavat osavarmuuslukujen soveltamisesta kuormiin ja kuormien vaikutuksiin. Kuva: Bond, Harris: Decoding Eurocode 7/Taylor & Francis, 2008

Kuorman osavarmuusluvut voidaan mitoitustavasta riippuen kohdistaa joko suoraan kuormiin (ylempi kuva) tai kuormista laskettuihin vaikutuksiin (alempi kuva). Kuvissa oleva ”=>” merkki kuvaa laskentamallin paikkaa prosessissa.

Geotekniikassa laskentamalli on yleensä epälineaarinen. Tästä seuraa, että kuvassa 3.2 esitetyt vaihtoehdot johtavat eri tulokseen. Mikäli laskentamalli on kauttaaltaan lineaarinen, antavat kummatkin tavat saman tuloksen.

Koska pysyvillä ja muuttuvilla kuormilla on eri osavarmuusluvut, pitää alemman kuvan mukaisessa tavassa laskea erikseen pysyvän kuorman aiheuttamat vaikutukset ja muuttuvan kuorman aiheuttamat vaikutukset

3.4.3 Maan ominaisuudet

Maan ominaisuuksilla (X) tarkoitetaan yleisesti kaikkia maan mekaanisia ominaisuuksia, kuten lujuus, tilavuuspaino ja muodonmuutosominaisuudet. Murtorajatila-tarkasteluissa pääpaino on maan ja rakenteen kestävyydellä, jolloin varmuus kohdistetaan lujuusominaisuuksiin. Geotekniikan yhteydessä on kuitenkin luontevaa puhua maan ominaisuuksista lujuuden sijaan, koska yleensä tarkoitetaan maan koheesiota tai leikkauskestävyyskulmaa (kitkakulma).

Kuva poistettu

Kuva 3.3 Osavarmuusluvun kohdistaminen maan ominaisuuksiin (maaparametreihin). Kuva: Bond, Harris: Decoding Eurocode 7/Taylor & Francis, 2008

Ominaisarvosta saadaan mitoitusarvo jakamalla se maaparametrin osavarmuusluvulla γ_M .

3.4.4 Kestävyys

Kestävyydellä (R) tarkoitetaan maan lujuusominaisuuksien perusteella laskettua kykyä kestää sille tulevia kuormia. Näitä ovat esim. maapohjan kantokestävyys, paalun kantokestävyys ja passiivipaine (maan kestävyys).

”Rakenteen minkä tahansa osan tai sen poikkileikkauksen kyky vastustaa kuormien vaikutusta vaurioitumatta mekaanisesti, esim. taivutuskestävyys, nurjahduskestävyys, vetokestävyys” /SFS-EN 1990, 1.5.2.15/

Rakenteiden suunnittelussa materiaalin lujuus ja kestävyys eivät yleensä riipu kuormista. Geotekniikassa sen sijaan materiaalin lujuus riippuu usein kuormasta ja sen vuoksi esimerkiksi kitkamaassa maan kestävyys liukupinnalla (R) riippuu liukupintaa rasittavista kuormista (F). Tämä maan kestävyys ja kuormien välinen riippuvuus monimutkaistaa osavarmuuslukumenetelyn soveltamista geotekniikkaan verrattuna muuhun rakennesuunnitteluun.

Kuva poistettu

*Kuva 3.4 Vaihtoehtoiset tavat osavarmuuslukujen soveltamisesta lujuuteen ja kestävyys-
kestävyyteen. Kuva: Bond, Harris: Decoding Eurocode 7/Taylor & Francis, 2008*

Osavarmuusluvut voidaan mitoitusavasta riippuen kohdistaa joko suoraan lujuusparametreihin tai niistä laskettuihin kestävyysparametreihin. Kuvassa 3.4 oleva "=>" merkki kuvaa laskentamallin paikkaa prosessissa. Ylemmässä kuvassa lujuuden ominaisarvoista saadaan lujuuden mitoitusarvot jakamalla ne lujuuden osavarmuusluvuilla. Kestävyys saadaan sitten käyttämällä laskennassa näitä lujuuden mitoitusarvoja. Alemmassa kuvassa taas laskenta suoritetaan lujuuden ominaisarvoilla ja osavarmuusluvuilla jaetaan vasta näin saatu kestävyysparametrin ominaisarvo.

Geotekniikassa laskentamalli on yleensä epälineaarinen. Tästä seuraa, että kuvassa 3.4 esitetyt vaihtoehdot johtavat eri tulokseen. Esimerkiksi anturan (maan) kantokesävyudeksi saadaan eri arvot, jos osavarmuusluku kohdistetaan $\tan\phi$ arvoon tai suoraan kantokesävyuden ominaisarvoon. Jos laskentamalli on kauttaaltaan lineaarinen, antavat kummatkin tavat saman tuloksen.

3.4.5 Geometria

Pääsääntöisesti geoteknisessä suunnittelussa käytetään mittatietojen mitoitusarvoina niiden nimellisarvoja. Olemassa olevien rakenteiden osalta ne perustuvat yleensä mittauksiin (esim. maanpinta) ja tulevien rakenteiden osalta suunnitelmiin. Poikkeuksena edelliseen ovat mm. voimakkaasti epäkeskeiset kuormat ja maanpinnan taso tukiseinän edessä.

3.4.6 Rajatilat, mitoistavat ja varmuuksien kohdentaminen

3.4.6.1 Kestävyyden tarkistus, rajatila STR/GEO

Rajatilassa STR/GEO tarkastetaan rakenteen ja maapohjan kestävyys murren ja liiallisen muodonmuutoksen suhteen. Murtorajatilassa tulee osoittaa, että kuormien vaikutusten mitoitusarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin kestävyuden mitoitusarvo.

$$E_d \leq R_d \quad (3.1)$$

Kuvassa 3.5 on esitetty yleisesti rajatilan STR/GEO prosessi kokonaisuudessaan.

Kuva poistettu

Kuormapuolella voidaan varmuus sijoittaa joko suoraan kuorman edustavaan arvoon tai kuormien vaikutuksiin (esim. pintakuorma tai siitä aiheutuva ankkurivoima). Kestävyysspuolella voidaan varmuus sijoittaa joko suoraan maaparametrin ominaisarvoon tai laskettuun kestävyYTEEN (esim. $\tan\phi$ tai kantavuus). Se mihin varmuus sijoitetaan, riippuu käytettävästä mitoitustavasta (DA1, DA2 ja DA3). Näihin palataan jatkossa.

Kuormien ja maaparametrien perusteella lasketaan kuormien vaikutus ja rakenteen/maan kestävyys. Tämä laskentamalli voi koostua kahdesta erillisestä laskennasta. Esimerkiksi maanvaraisen anturan kantokestävyyden riittävyys määritetään laskemalla erikseen kuormista aiheutuva jännitys anturan alapinnassa (pohjapaine) ja maan lujuudesta aiheutuva kestävyys, joita sitten verrataan keskenään. Geotekniikassa lujuus riippuu usein jännityksistä. Tällöin laskentamalli on sellainen, että sekä kuormat (jännitys) että kestävyys lasketaan samanaikaisesti yleensä iteroiden. Tyyppillinen esimerkki tästä on liukupintalaskelma.

Suomessa on valittu käytettäväksi kahta mitoitustapaa. Vakavuuden laskennassa käytetään mitoitustapaa DA3. Antura- ja laattaperustusten, paaluperustusten, ankkurien ja tukirakenteiden mitoituksessa käytetään mitoitustapaa DA2. Mitoitustapaa DA2 voidaan soveltaa kahdella eri tavalla. Nämä erotetaan toisistaan merkinnöillä DA2 ja DA2*. Suositeltava mitoitustapa on DA2*. Mitoitustapaa DA2 voidaan käyttää, mikäli laskelmat oleellisesti helpottuvat eikä valinnasta aiheudu merkittävää taloudellista haittaa. Mitoitus on tällöin varmalla puolella suhteessa mitoitustapaan DA2*.

Kuvissa 3.6 ja 3.7 on esitetty mitoitustavat DA2* ja DA3.

Kuva poistettu

Kuva 3.6 Mitoitustapa DA2, $X_d = X_k$, $F_d = F_{rep}$. Kuva: Bond, Harris: Decoding Eurocode 7/Taylor & Francis, 2008*

Mitoitustavassa DA2* kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien vaikutuksiin (esim. osavarmuusluvulla kerrotaan ulkoisten kuormien sijasta anturan pohjapaine). Kestävyysspuolella varmuus sijoitetaan kestävyys (esim. osavarmuusluvulla jaetaan lujuusparametrien ominaisarvojen perusteella laskettu kestävyys ominaisarvo). Eli laskelmissa käytettävä ominaisuuden mitoitusarvo on yhtä suuri kuin sen ominaisarvo.

Mitoitustapa DA2 eroaa mitoitustavasta DA2* siten, että kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien vaikutusten sijasta suoraan kuormien edustaviin arvoihin.

Kuva poistettu

Kuva 3.7 Mitoitustapa DA3. Kuva: Bond, Harris: Decoding Eurocode 7/Taylor & Francis, 2008

Mitoitustavassa DA3 kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien edustaviin arvoihin (esim. osavarmuusluvulla kerrotaan pintakuorman edustava arvo, jota sitten käytetään jatkolaskelmissa). Kestävyysspuolella varmuus sijoitetaan lujuusparametrien ominaisarvoihin (esim. osavarmuusluvulla jaetaan $\tan\phi$, mitä arvoa sitten käytetään jatkolaskelmissa).

3.4.6.2 Tasapainon tarkistus, rajatilat EQU, UPL ja HYD

Rajatiloissa EQU, UPL ja HYD tarkastetaan rakenteen ja maapohjan tasapainon säilyminen. Rajatiloissa tulee osoittaa, että kaatavien kuormien tai niiden vaikutusten mitoitusarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin vakauttavien kuormien tai niiden vaiku-

tusten mitoitusarvon ja mahdollisen tasapainoa lisäävän kestävyysmitoitussumman summa.

$$E_{dst;d} \leq E_{stb;d} + R_d \quad (3.2)$$

Rajatilasta riippuen tarkastellaan joko voimia tai voimien vaikutuksia. Myös kestävyysmitoitukseen huomioon ottamisessa on rajatiloittain eroja.

Kuvassa 3.8 on esitetty yleisesti tasapainontarkistusprosessi kokonaisuudessaan.

Kuva poistettu

Rajatilassa EQU tarkastellaan rakenteen tai maapohjan staattisen tasapainon rajatilaa. EQU tulee pääasiassa kyseeseen rakenteiden mitoituksessa. Geoteknisessä mitoituksessa EQU:n tarkastaminen rajoittuu harvoin tapauksiin, kuten kallion varaan perustetun rakenteen kaatumisen tarkastelu. Mikäli EQU:ssa huomioidaan maan leikkauskestävyyttä T_d ($\sim R_d$), pitää sen merkityksen olla vähäinen. Kaavana asia ilmaistaan seuraavasti

$$E_{dst;d} \leq E_{stb;d} + T_d \quad (3.3)$$

Leikkauskestävyyden osalta kohdistetaan osavarmuusluvut maaparametrien ominaisarvoihin.

Rajatilassa UPL (vrt. kuva 5.4) tarkastetaan nosteen vaikutus. Siinä tarkastetaan, että pystysuorien kaatavien pysyvien ja muuttuvien kuormien mitoitusarvo on pienempi tai yhtä suuri kuin pystysuorien vakauttavien pysyvien kuormien mitoitusarvon ja kestävyyden mitoitusarvon summa. Kaavana tämä ilmaistaan:

$$G_{dst;d} + Q_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d \quad (3.4)$$

Kestävyyden R_d osalta osavarmuusluvut kohdistetaan maan ominaisuuksiin ja vedettyjen rakenneosien (esim. ankkuri tai paalu) kestävyksiin. Kestävyyttä voidaan myös käsitellä pystysuorana kuormana. Tällöin sen edustava arvo kerrotaan vakauttavan pysyvän kuorman osavarmuusluvulla.

Rajatilassa HYD (vrt. kuva 5.3) tarkastetaan veden suotovirtauksen aiheuttaman hydraulisen murtuman vaara. Tämä tapahtuu tarkastelemalla virtauksen suuntaisen maaprisman tasapainotilaa. Esimerkki maaprismasta on kuvassa 5.3 esitetty varjostettu alue.

Maaprisman tasapainotila voidaan tarkastaa joko vertaamalla prisman pohjalla vaikuttavia jännityksiä tai voimia. Eli tarkastetaan, että prisman pohjalla kokonaishuokosvedenpaineen mitoitusarvo $u_{dst;d}$ on pienempi tai yhtä suuri kuin pystysuoran kokonaisjännityksen mitoitusarvo $\sigma_{dst;d}$. Tai vaihtoehtoisesti voimina tarkastetaan, että suotovoiman mitoitusarvo $S_{dst;d}$ on pienempi tai yhtä suuri kuin prisman vedenalaisen painon mitoitusarvo $G'_{dst;d}$. Kaavoina nämä ovat:

$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \quad (3.5)$$

$$S_{dst;d} \leq G'_{stb;d} \quad (3.6)$$

Edellä esitettyjä jännityksiä ja voimia tarkastellaan kuormina ja osavarmuusluvut kohdistetaan niiden edustaviin arvoihin. Rajatilassa HYD ei huomioida kestävyttä.

3.4.7 Käyttörajatila

Käyttörajatilassa käytetään kuormien ja ominaisuuksien ominaisarvoja. Siirtymien raja-arvoja on käsitelty Liikenneviraston julkaisuissa. Siirtymien maksimiarvojen määrittämisessä pitää ottaa huomioon ympäristön ja tuettavan rakenteen sallimat siirtymät.

4 Kuormat

4.1 Mitoitustilanteet

Mitoitustilanteilla tarkoitetaan rakenteen suunnitellun käyttöiän aikana vastaantulevia tilanteita. Näitä ovat: normaalisti vallitseva mitoitus tilanne, tilapäinen mitoitus tilanne, onnettomuusmitoitustilanne ja maanjäristysmitoitustilanne. Suunnittelussa mitoitus tilanteet liittyvät yleisesti kuormiin tai mittatietoihin. Normaalisti vallitsevalle ja tilapäiselle mitoitus tilanteelle käytetään samoja osavarmuuslukuja. Onnettomuusmitoitustilanteessa käytetään yleensä osavarmuuslukua 1,0.

Taulukko 4.1 Mitoitustilanteiden luokittelu

Mitoitus tilanne	Ajallinen kesto	Todennäköisyys	Esim.
Normaalisti vallitseva	~Suunniteltu käyttöikä	Varma	Päivittäinen käyttö
Tilapäinen	<<Suunniteltu käyttöikä	Korkea	Korjaukset ja huollot
Onnettomuus	Poikkeuksellinen	Matala	Törmäys

4.2 Edullinen ja epäedullinen kuorma

Eurokoodeissa, kansallisissa liitteissä ja tässä ohjeessa käytetään rinnakkain kahta terminologiaa. Seuraavat termit tarkoittavat samaa:

- Edullinen = vakauttava
- Epäedullinen = kaatava

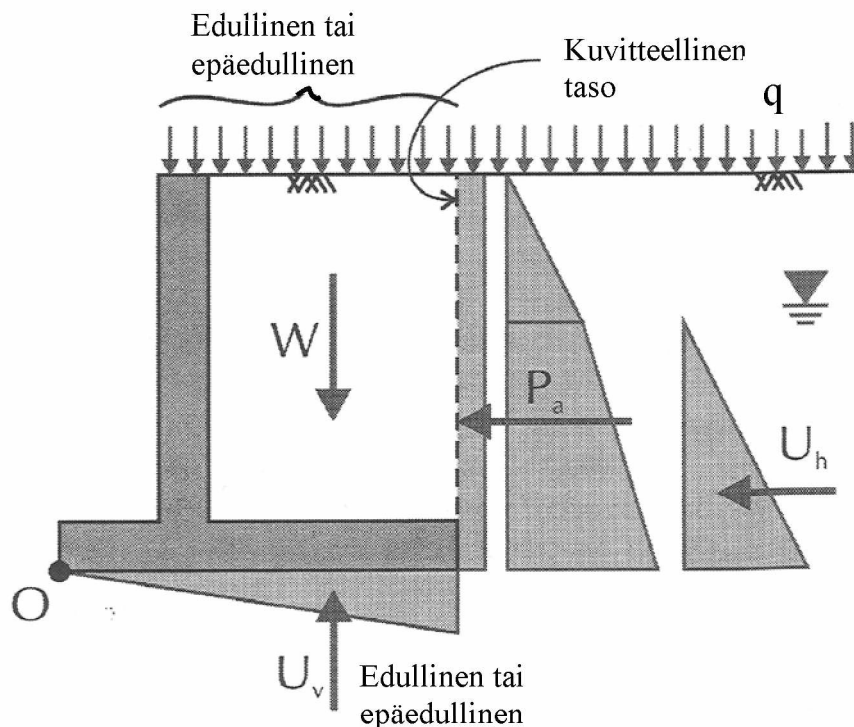
Tarkastellaan alla olevan kuvan 4.1 mukaista tukimuuria:

- Omapaino W on yleensä epäedullinen maapohjan kantokestävyyden suhteen, mutta liukumisen suhteen se on aina edullinen.
- Pintakuorma q toimii kuten W anturan päällä, mutta anturan takana se on epäedullinen myös liukumisen suhteen.

Esimerkeistä nähdään, että fysikaalisesti sama kuorma voi eri tarkasteluissa olla edullinen tai epäedullinen.

Vedenpaineesta voidaan edellisen lisäksi tehdä seuraavat havainnot:

- Vaakasuuntainen vedenpaine U_H on epäedullinen sekä maapohjan kantokestävyyden että liukumisen suhteen.
- Pystysuuntainen vedenpaine U_V on epäedullinen liukumisen suhteen, mutta edullinen maapohjan kantokestävyyden suhteen.



Kuva 4.1 Esimerkki edullisista ja epäedullisista kuormista. Kuva: Bond, Harris: Decoding Eurocode 7/Taylor & Francis, 2008

Eli vedenpaine saattaa suunnasta riippuen olla samassa tarkastelussa sekä edullinen että epäedullinen. Jos tästä epäloogisuudesta halutaan päästään eroon, voidaan vastaavassa tapauksessa epäedullisia ja edullisia pysyviä kuormia käsitellä yhdestä lähteestä tulevana ja käyttää tällöin yhtä osavarmuuslukua kuormien summalle tai niiden vaikutusten summalle. Kuvan 4.1 tapauksessa tämä tarkoittaa, että sekä vaaka- että pystysuuntaista vedenpainetta tarkastellaan ensin edullisena ja sitten epäedullisena. Näistä kahdesta tarkastelusta toinen antaa mitoittavan tuloksen.

Jos käytetään ”yhden lähteen periaatetta” (vrt. SFS-EN 1990, taulukko A1.2(B), HUOM 3), ei mitoituksessa yleensä samanaikaisesti voida käyttää tehokasta painoa $W' = W - U_v$. Tämä johtuu siitä, että tehokkaan painon käyttö yhdistää pystysuuntaisen vedenpaineen U_v ja rakenteen painon W , jolloin niitä tarkastellaan aina yhdessä joko edullisina tai epäedullisina. Esimerkiksi liukumisen suhteen W' on edullinen ja U_h epäedullinen, mistä seuraa, että tehokasta painoa käytettäessä U_v käsiteltäisiin edullisena ja U_h epäedullisena, kun taas ”yhden lähteen periaatteen” mukaan U_v ja U_h olisivat molemmat joko epäedullisia tai edullisia.

4.3 Vedenpaine

SFS-EN 1990:2002/A1 (Liite A2) kansallisen liitteen mukaan vedenpaine huomioidaan siltojen yhteydessä seuraavasti:

Vedenpaine otetaan huomioon NW:n ja HW:n väliltä siten, että

- MW:n tasolla oleva vesi katsotaan pysyväksi kuormaksi

- Vedenpaineen muutokselle MW:stä tasolle NW tai HW käytetään pysyvän kuorman osavarmuuskertoiminta, mutta yhdistelykertoimia $\psi_0 = 1,0$, $\psi_1 = 0,7$ ja $\psi_2 = 0,5$

Edellä esitetty pätee siltojen perustusten suunnitteluun.

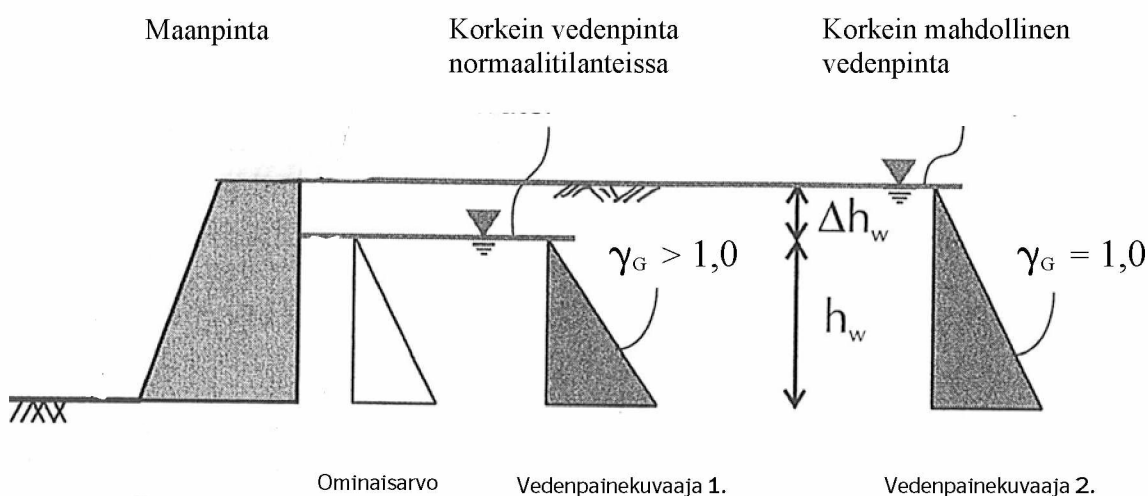
Yleisesti voidaan todeta, että Eurokoodin mukaan kuorman mitoitusarvo tulee arvioida suoraan tai johtaa edustavista arvoista käyttäen yhtälöä:

$$F_d = \gamma_F F_{rep} \quad (4.1)$$

Pohjavedenpaineen osalta tämä tarkoittaa, että mitoitusarvot voidaan määrittää lisäämällä turvamarginaali ominaisvedenpaineisiin tai kohdistamalla osavarmuusluvut ominaisvedenpaineisiin. Murtorajatiloina pohjavedenpaineen mitoitusarvojen tulee edustaa epäedullisimpia arvoja, jotka voivat esiintyä rakenteen suunnitellun käyttöiän aikana. Käyttörajoissa käytetään epäedullisimpia normaaleissa oloissa esiintyviä arvoja.

Edellinen mahdollistaa monia tulkintoja vedenpaineen käsittelyssä.

Kuvassa 4.2. on esitetty suositus vedenpaineen huomioimiseksi laskelmissa.



Kuva 4.2 Suositus vedenpaineen huomioimiseksi laskelmissa.
Kuva: Bond, Harris: Decoding Eurocode 7/Taylor & Francis, 2008

Vedenpainekuvaajan 1 mukaista vedenpainetta kerrottuna osavarmuusluvulla käytetään normaaleissa ja tilapäisissä mitoitus tilanteissa. Vedenpainekuvaajan 2 mukaista vedenpainetta käytetään onnettomuusmitoitustilanteissa ja hienorakeisissa maaperissä (ks. 5.4.1). Tällä menettelyllä vedenpaineen ja maanpaineen osavarmuusluvut ovat samat, mikä yksinkertaistaa laskelmia.

Koska vedenpaine voidaan käsitellä laskelmissa useilla tavoilla, jotka tapauksesta riippuen johtavat huomattaviin eroihin, pitää suunnittelijan määrittää tapauskohtaisesti varmuusmenettelyn vaikutukset ja tehdä perusteltu valinta kulloinkin käytettäväksi varmuusmenettelyksi.

Stabiiliteettitarkasteluissa laskettaessa maan lujuutta tehokkaiden jännitysten mukaisesti ei huokosvedenpaineseen kohdisteta osavarmuuslukuja.

4.4 Liikennekuormat

4.4.1 Maantieliikenne

Maantieliikenteen kuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa 'Siltöjen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1'.

Sillat ja niiden maatuot:

Jos liikennekuorma esiintyy samanaikaisesti sillalla ja penkereellä maatuen takana, noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Jos sillalla on kuormakaavion LM1 akselit, penkereellä voi vaikuttaa samanaikaisesti koko sillan hyödyllisellä leveydellä 20 kN/m² tasainen kuorma.
- Jos penkereelle maatuen taakse sijoitetuilla kuormakaavion LM1 akseleilla on määräävämpi vaikutus kuin koko hyödyllisellä leveydellä olevalla tasaisella kuormalla 20 kN/m², käytetään niitä maatukeen kohdistuvaa maanpainetta laskettaessa. Tällöin ei sillalta maatuella tulevaa tukireaktiota laskettaessa sillalle sijoiteta akseleita vaan pelkkä LM1:n tasainen kuorma.
- Siipimuurin kannalta määräävä kuorma voi olla 20 kN/m² tai joku liikennekuormakaavioista LM1, LM2 tai LM3 riippuen siipimuurin koosta ja sillan hyödyllisestä leveydestä.
- Valtionapua saavien yksityisteiden silloilla em. kuormat kerrotaan sovituskertoimella 0,8.
- Kevyen liikenteen silloilla penkereellä vaikuttavan tasaisen kuorman arvona käytetään 10 kN/m². Kuorma vaikuttaa koko sillan hyödyllisellä leveydellä ja sillalla voi olla yhtä aikaa joko puhtaanapitotraktori tai kevyen liikenteen kuormakaavion tasainen kuorma.
- Edellä esitetyt kuormat voivat esiintyä maatuen peruslaatan päällä tai peruslaatan takana, mikä ei kuitenkaan vaikuta maatukeen ko. kuormasta kohdistuvaan maanpaineen suuruuteen.

Tukimuurit:

Liikenneväyliin liittyvien tukimuurien liikennekuormien suhteen noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Tukimuurin takana vaikuttava liikennekuorma voidaan korvata 20 kN/m² tasaisella kuormalla.
- Jos penkereelle tukimuurin taakse sijoitetuilla kuormakaavion LM1 akseleilla on määräävämpi vaikutus kuin em. tasaisella kuormalla 20 kN/m², käytetään niitä tukimuriin kohdistuvaa maanpainetta laskettaessa (vrt. 'tiepenkereet' jäljempänä).
- Valtionapua saaviin yksityisteihin liittyvillä tukimuureilla em. kuormat kerrotaan sovituskertoimella 0,8.

- Kevyen liikenteen väyliin liittyvien tukimuurien takana vaikuttavan tasaisen kuorman arvona käytetään 10 kN/m^2 , ellei puhtaanapitotraktorin mitoittava vaikutus ole merkittävämpi.
- Edellä esitetyt kuormat voivat esiintyä tukimuurin peruslaatan päällä tai peruslaatan takana, mikä ei kuitenkaan vaikuta tukimuriin ko. kuormasta kohdistuvaan maanpaineen suuruuteen.

Väliaikaiset tukiseinät:

Liikenneväyliin liittyvien väliaikaisiin tukiseiniin kohdistuvien liikennekuormien suhteen noudatetaan seuraavia periaatteita:

- Tukiseinän takana vaikuttava liikennekuorma voidaan yleensä korvata 20 kN/m^2 tasaisella kuormalla.
- Tapauskohtaisesti on tukiseinät tarkasteltava myös todellisen liikenteen mukaisille kuormille.

Tiepenkereet:

Teiden pohjarakenteiden mitoituksessa voidaan kuormakaavion LM1 eri kuormakais-tojen telit käsitellä tasaisena kuormana, jonka suuruus on 1. kuormakaistalla 84 kN/m^2 , 2. kuormakaistalla 56 kN/m^2 ja 3. kuormakaistalla 28 kN/m^2 . Tällöin tasai-sen kuorman vaikutusalue tien pinnalla on poikkisuunnassa kaistan levyinen (yleensä 3,0 metriä) ja pituussuunnassa 2,4 metriä. Kuorman oletetaan jakautuvan tiepenke-reessä alaspäin mentäessä kaltevuudessa 2:1. Kuormakaistojen ollessa vierekkäin käsitellään kunkin kuormakaistan jakautuminen erikseen ja näin saadut kuormien intensiteetit summataan tarkasteltavalla tasolla. Pohjarakenteita ovat esimerkiksi paalulaatat, suihkuinjektointi ja syvästabilointi, kun pilarin leikkauslujuuden ominai-sarvo on yli 200 kPa tai lujuussuhde on yli 15.

Paalulaattojen mitoituksessa liikennekuorman kuormakaistojen leveytenä voidaan käyttää 3,5 metriä 3,0 metrin asemasta. Liitteessä 5 on esitetty näin lasketut tasaisen kuorman arvot paalulaatalle eri penkereen korkeuksilla. Kuormat ja kuormakaistat tulee sijoittaa siten, että paalulaatalle syntyy tarkasteltavan mitoitusuureen suhteen määräävä vaikutus.

Teiden pohjavahvistusten suunnittelussa voidaan yleensä soveltaa pienempiä liiken-nekuormituksia, jolloin laaja-alaisissa vakavuus- ja maanpainetarkasteluissa käyte-tään tasaisen pintakuorman ominaisarvona 10 kN/m^2 . Tällöin työkone- ja muut työn- aikaiset kuormitukset, kuten varastointikuormat, on otettava erikseen huomioon.

4.4.2 Raideliikenne

Raideliikenteen junakuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa 'Silto- jen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1'.

Sillat ja niiden maatuot:

Raideliikenteen kuormakaavio LM 71 voidaan sijoittaa sillan päähän siten, että osa kuormasta sijaitsee sillalla ja osa maatuen takana. Tällöinkin kaaviossa on vain yksi akseliryhmä, joka sijoitetaan joko maatuen taakse tai sillalle, mutta ei siis yhtä aikaa molempiin asemiin.

Myös useampiraiteisella sillalla noudatetaan samaa periaatetta sijoittaen yhtä aikaa eri raiteille eurokoodin SFS-EN 1992-2 taulukon 6.11 mukaiset junakuormakaaviot ja taulukon mukaiset vaakakuormat.

Raideliikenteestä aiheutuvien kuormien yleisten vaikutusten huomioon ottamista var-
ten raiteen alla tai vieressä olevan maarakenteen pystykuormituksen ekvivalentteina
ominaisarvoina voidaan käyttää asianomaista kuormakaaviota (LM71 asianomaisella
 α -kertoimella kerrottuna ja tarvittaessa kaaviota SW/2) tasaisesti jakautuneena
3,00 m leveydelle korkeustasolla 0,70 m raiteen kulkupinnan alapuolella.

Tukimuurit ja väliaikaiset tukiseinät:

Rautateihin liittyvien tukimuurien liikennekuormien suhteen noudatetaan seuraavia
periaatteita:

- Tukimuurin takana vaikuttava liikennekuorma voidaan korvata edellä esitetyllä tai penkereelle jäljempänä esitetyllä tasaisella kuormalla.

Ratapenkereet:

Kuorma määritetään RATO3:n mukaan.

Paalulaatat:

Kuorma määritetään RATO3:n mukaan.

4.5 Maanpaino

Penkereen ja alueellisen stabiliteetin laskennassa maanpainoon ei kohdisteta osa-
varmuuslukuja (DA3, liitteen 1 taulukko A.3b(FI)). Sen sijaan pohjarakenteiden, tuki-
rakenteiden ja maanvaraisten anturaperustusten laskennassa maanpainoa käsitellään
kuormana ja siihen kohdistetaan asianmukaiset osavarmuusluvut (DA2, liitteen 1 tau-
lukko A.3a(FI)).

4.6 Maanpaine

4.6.1 Yleistä

Siltarakenteisiin kohdistuva maanpaine lasketaan yleensä lepopaineena.

Jos rakenne pakotetaan siirtymään maata vasten tai maata käytetään ottamaan siltalta tulevia vaakakuormia, maanpaineen arvo nousee suurimmillaan passiivipaineen suuruiseksi.

Raiteen lähellä olevia paikallisia rakenneosia (esim. tukikerroksen leviämistä estävien seinämien) mitoittaessa otetaan huomioon myös raideliikennekuormista rakenneosaan vaikuttava paikallinen pysty-, pituus- ja poikittaissuuntainen kuormitus.

4.6.2 Aktiivipaine

Myötäviin rakenteisiin kohdistuva maanpaine voidaan laskea aktiivipaineena, jos siirtymät ovat riittävän suuria. Tämä pitää aina selvittää laskelmin.

Aktiivipaine voidaan laskea SFS-EN 1997-1 liitteen C mukaan.

Aktiivipaineen yhdistelykertoimena käytetään aiheuttavan kuorman (maanpaine tai liikennekuorma) yhdistelykerrointa ja osavarmuuslukua.

4.6.3 Lepopaine

Sillan jäykkiin rakenteisiin (maa-, pääty- ja välituet sekä siipimuurit) sekä kallionvaraisiin tukimuureihin kohdistuva maanpaine lasketaan pääsääntöisesti lepopaineena.

Tukiseinärakenteen ollessa riittävän joustava voi sen maanpaine olla lepopainetta pienempi. Tämä voidaan ottaa huomioon mitoituslaskelmissa (vrt. edellinen kohta).

Lepopaine lasketaan käyttäen suunnitelman mukaisen tausta- tai ympäristäytön leikkauskestävyyskulman ja tilavuuspainon ominaisarvoja, jotka vastaavat maarakenteelle asetettuja tiiveysvaatimuksia.

Lepopaine lasketaan kohdan 5.4 mukaan.

Siltojen maatuissa ja niihin liittyvissä tukimuureissa mitoituslaskelu suoritetaan lisäksi maanpaineelle $0,7 \times$ lepopaine

Kulmatukimuurin rakenteellinen mitoitus tehdään aina lepopaineelle.

Lepopaineen yhdistelykertoimena käytetään aiheuttavan kuorman (maanpaine tai liikennekuorma) yhdistelykerrointa ja osavarmuuslukua.

4.6.4 Passiivipaine

Passiivipaine lasketaan kohdan 5.4 mukaan.

Mobilisoituneen passiivipaineen yhdistelykertoimena käytetään aiheuttavan kuorman (lämpötilan muutos tai jarrukuorma) yhdistelykerrointa ja osavarmuuslukuna pysyvän kuorman osavarmuuslukua.

4.7 Paalujen negatiivinen vaippahankaus

Jos paalun ympärillä oleva maa painuu enemmän kuin paalu sille tulevasta kuormituksesta, syntyy paalun vaipan ja maan välille kitkan ja/tai adheesio-vaikutuksesta 'hankausta', joka on suurimmillaan paalun ja maan välisen leikkauskestävyyden suuruisen. Tämän negatiivisen vaippahankauksen laskeminen tapahtuu periaatteessa samalla tavalla kuin paalun vaippavastuksen laskeminen.

Negatiivinen vaippahankaus käsitellään paalun mitoituksessa kuormana. Negatiivisen vaippahankauksen osavarmuuslukuna käytetään pysyvän kuorman osavarmuuslukua.

Negatiivisen vaippavastuksen ei oleteta vaikuttavan yhtä aikaa paaluun liikennekuormista syntyvien puristusrasitusten kanssa.

4.8 Sysäys

4.8.1 Tiesillat

Tiesiltojen liikennekuormakaaviot sisältävät sysäyksiä. Koska sen suuruutta ei ole standardissa kerrottu, ei sitä voida kuormista erotella. Näin ollen sillan perustukset mitoitetaan samoille sysäyksen sisältäville liikennekuormille kuin sillan päällysrakenteetkin.

Myös tiesiltojen väsytytkuormakaavioihin sisältyy kuormien 'dynaaminen suurennus'. Sillan perustuksiin tällä ei ole kuitenkaan vaikutusta, koska niitä ei tarvitse mitoitaa väsytykselle.

4.8.2 Rautatiesillat

Rautatiesiltojen kuormakaaviot LM 71, SW/0 ja SW/2 kerrotaan dynaamisella suurennuskertoimella Φ_2 (SFS-EN 1991-2 kohta 6.4.5.2), jonka suuruus riippuu raideliikenteestä alusrakenteille tulevia kuormia laskettaessa sillan jännemitoista sillalla olevan tuki- ja täyterokoksen paksuuden ollessa yhteensä pienempi kuin 1,0 metriä. Tuki- ja täyterokoksen paksuuden ollessa putki- ja betonisilloilla >1,0 metriä, dynaamista suurennuskerrointa voidaan pienentää määrällä $\Delta\Phi = (h - 1,0)/10$, jossa h on sillalla olevan täyterokoksen ja tukierokoksen yhteispaksuus ratapölkyn yläpintaan metreinä. Dynaamisen suurennuskertoimen arvo on kuitenkin aina $\geq 1,0$.

Raideliikenteestä aiheutuvien kuormien yleisten vaikutusten huomioon ottamista varten raiteen alla tai vieressä olevan maarakenteen pystykuormituksen ekvivalentteina ominaisarvoina voidaan käyttää asianomaista kuormakaaviota (LM71 asianomaisella α -kertoimella kerrottuna ja tarvittaessa kaaviota SW/2) tasaisesti jakautuneena 3,00 m leveydelle korkeustasolla 0,70 metriä raiteen kulkupinnan alapuolella. Dynaaminen suurennuskerroin otetaan huomioon tämän tasaisesti jakautuneen kuorman yhteydessä RATO 3:ssa esitetyllä tavalla.

Dynaamista suurennuskerrointa ei tarvitse ottaa huomioon sillan kannelta tulevan liikennekuorman yhteydessä mitoitettaessa pilareita, joiden hoikkuus $L_c/i < 30$, maa-

tukia ja perustuksia. Maatukiin kohdistuvia maanpaineita laskettaessa dynaaminen suurennuskerroin sen sijaan otetaan huomioon $RATO_3$:ssa esitetyllä tavalla.

Rautatiesiltojen perustuksia ei mitoiteta väsytykselle.

Muihin kuin siltoihin liittyvät dynaamiset suurennuskertoimet ja niiden soveltaminen on esitetty julkaisussa $RATO_3$.

4.9 Kuormien yhdistely

4.9.1 Maantieliikenne

Pohjarakenteiden geoteknisessä mitoituksessa määräävänä muuttuvana kuormana on yleensä liikennekuorma (LM1 tai LM3, joita vastaavat kuormaryhmät ovat gr1a ja gr5). Maantieliikenteen kuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa "Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1".

Liitteen 5 taulukossa on esitetty maantiesiltojen mitoituksessa määräävät kuormitusyhdistelmät standardin SFS-EN 1990 A1 / Annex 2 kaavan 6.10a ja 6.10b mukaan käyttäen saman standardin kansallisen liitteen taulukon A2.1(FI) yhdistelykertoimia ja taulukon A2.4(B)(FI) kuormien osavarmuuslukuja. Osavarmuusluvut on esitetty myös liitteen 1 taulukossa A.3a(FI) ja yhdistelykertoimet Liikenneviraston soveltamisohjeen "Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1" taulukossa G.1 ajoneuvoliikenteen siltojen osalta ja taulukossa G.2 kevyen liikenteen siltojen osalta. Kuormaryhmät on esitetty liitteen 5 kuormitusyhdistelyjen yhteydessä (kuormaryhmät on esitetty myös Liikenneviraston soveltamisohjeen "Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1" taulukossa B.3).

Liitteen 5 taulukoissa on esitetty kullekin kysymykseen tulevalle kuormitusyhdistelmälle sekä osavarmuusluku että yhdistelykerroin. Murtorajatilan kuormitusyhdistelyt on liitteessä 5 nimetty merkinnällä "MRT_o"... "MRT_11", joihin viitataan tässä kapaleessa esitetyissä kuormitusyhdistelyissä.

Maantiesillan maatukien perustuksia murtorajatilassa mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoittavat / käsiteltävät ja liitteen 5 yhdistelytaulukon mukaan muodostettavat kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (MT1), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr1a (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja kuormaryhmän gr1a pienin tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (MT2), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr1a (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr1a suurin tukireaktio)

- vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT3), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja kuormaryhmän gr2 pienin tukireaktio)
 - gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
 - muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT4), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr2 suurin tukireaktio)
 - gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
 - muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT5), jossa on
 - määräävänä kuormana liikennekuorman maanpaine (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_11)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja pienin liikennekuorman tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT6), jossa on
 - määräävänä kuormana liikennekuorman maanpaine (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_11)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja suurin liikennekuorman tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina

Kalliolle ja maan varaan perustetulla maatuilla poikittaiset vaakakuormat ja epäkeskisyydet käsitellään normaalisti, mutta paaluille perustetuilla maatuilla ei yleensä käytetä poikittain vinoja paaluja, koska normaaleilla silloilla poikittaisten kuormien katsotaan siirtyvän maatuen rakenteiden kautta penkereeseen. Paaluille perustettaessa peruslaatan alapinnan tasolle laskettu pystykuorman epäkeskisyys otetaan kuitenkin huomioon paalutusta suunniteltaessa.

Risteyssiltojen välitukien perustuksia mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (MT7), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr1a (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr1a suurin tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (MT8), jossa on

- määräävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja kuormaryhmän gr2 pienin tukireaktio)
 - gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
- muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (MT9), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr2 suurin tukireaktio)
 - gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
 - muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna

Vesistösiltojen välitukien perustuksia mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (MT10), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr1a (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr1a suurin tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (MT11), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja kuormaryhmän gr2 pienin tukireaktio)
 - gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
 - muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (MT12), jossa on
 - määräävänä kuormana kuormaryhmä gr2 (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_3)
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja kuormaryhmän gr2 suurin tukireaktio)
 - gr2:n sisältämät vaakakuormat (jarru-, keskipako- ja sivukuorma)
 - muut vaakakuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (MT13), jossa on
 - määräävänä kuormana jääkuorma (vastaa liitteen 5 kuormitusyhdistelmää MRT_10)
 - pienin mahdollinen pystykuorma (NW ja pienin liikennekuorman tukireaktio)
 - vaakakuormat (muut kuin jarru-, keskipako- ja sivukuorma) ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna

Suurissa vesistösilloissa välituilla joudutaan lisäksi käsittelemään yhdistelmät, joissa määräävänä muuttuvana kuormana on jääkuorman sijasta tuulikuorma tai laakerikitka. Tällöin tarkastelu tehdään liitteen 5 kuormitusyhdistelmällä MRT_7 (tuulikuorma määräävänä) tai MRT_9 (laakerikitka määräävänä).

Jos silta on hyvin pitkä tai leveä ja pilarit ovat jäykästi kiinni päällysrakenteessa voi lämpöliikkeiden vaikutus olla niin suuri, että edellä esitettyjen kuormitustapausten lisäksi joudutaan tarkastelemaan kuormitustapaukset, joissa lämpöliike on määräävä muuttuva kuorma. Tällöin tarkastelu tehdään liitteen 5 kuormitusyhdistelmällä MRT_8.

Mikäli silta mitoitetaan myös erikoiskuormalle LM3, tehdään lisäksi tarkastelu liitteen 5 kuormitusyhdistelmällä MRT_2.

Liikennekuormien sijoittelu kuormakaistoille sillan poikkisuunnassa valitaan siten, että saavutetaan määräävä vaikutus.

Jos välituen pilari on jäykästi kiinni kansirakenteessa, tarkastetaan lisäksi kuormitustapaukset, joissa liikennekuormana on välituen pilarin yläpään suurimman kiertymän aiheuttava liikennekuorma.

Kevyen liikenteen silloilla sovelletaan tätä kappaletta ja kevyen liikenteen siltoja koskevia kappaleita Liikenneviraston soveltamisohjeesta ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1”.

Lisäksi tulee tarkastella Liikenneviraston soveltamisohjeen ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1” onnettomuusmitoitustilanne liitteen 5 onnettomuuskuormitusyhdistelmällä. Onnettomuus tilanteessa perustus ei saa murtua, liukua eikä kaatua jäykkänä kappaleena:

- Törmäys alapuolisiin rakenteisiin (NCCI 1 kappaleet F.4.3.1, F.4.3.2, F.4.5 ja F.4.8)

4.9.2 Raideliikenne

Pohjarakenteiden geoteknisessä mitoituksessa määräävänä muuttuvana kuormana on yleensä junakuorma LM 71 tai SW/0. Raideliikenteen kuormat on esitetty Liikenneviraston soveltamisohjeessa ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1”.

Liitteen 6 taulukossa on esitetty raideliikenteen siltojen mitoituksessa määräävät kuormitusyhdistelmät standardin SFS-EN 1990 A1 / Annex 2 kaavan 6.10a ja 6.10b mukaan käyttäen saman standardin taulukon A2.3 yhdistelykertoimia kansallisessa liitteessä esitetyin täydennyksin ja standardin kansallisen liitteen taulukon A2.4(B)(FI) kuormien osavarmuuslukuja. Osavarmuusluvut on esitetty myös liitteen 1 taulukossa A.3a(FI) ja yhdistelykertoimet Liikenneviraston soveltamisohjeen ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1” taulukossa G.3. Raideliikenteen kuormaryhmät on esitetty liitteen 6 kuormitusyhdistelyjen yhteydessä (kuormaryhmät on esitetty myös Liikenneviraston soveltamisohjeen ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1” taulukossa B.9).

Liitteen 6 taulukoissa on esitetty kullekin kysymykseen tulevalle kuormitusyhdistelmälle sekä osavarmuusluku että yhdistelykerroin. Murtorajatilán kuormitusyhdistelyt

on liitteessä 6 nimetty merkinnällä "MRT_o"... "MRT_g", joihin viitataan tässä kappaaleessa esitetyissä kuormitusyhdistelyissä. Kuormaryhmät on rakennettu taulukoihin mukaan, vaikka niiden nimiä ei taulukoissa esiinny (suunnittelijan on valittava määräävä kuormaryhmä kuhunkin käytettävään kuormitusyhdistelyyn). Kuormana käytetään yhdellä tai kahdella raiteella täyttä raideliikenteen kuorman arvoa ja kolmella raiteella 75 %:a täydestä arvosta ilman dynaamista suurennuskerrointa. (vrt. 4.4.2).

Sillan maatumien perustuksia mitoitettaessa normaalitapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät ja liitteen 5 yhdistelytaulukon mukaan muodostettavat kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (RT1), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 11 tai gr 13
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 21 tai gr 23
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävän kuormaryhmän pienin tukireaktio)
 - jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvolla ja keskipako- ja sivusysäyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (RT2), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 11 tai gr 13
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 21 tai gr 23
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määräävän kuormaryhmän suurin tukireaktio)
 - jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvolla ja keskipako- ja sivusysäyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna

Jos maatuella ei ole kiinteää tai jarrulaakeria, yhdistelmät ovat vastaavasti:

- kuormitustapaus (RT3), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävän kuormaryhmän pienin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
- kuormitustapaus (RT4), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - suurin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävän kuormaryhmän suurin tukireaktio)

-
- keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
 - kuormitustapaus (RT5), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_9)
 - määräävänä kuormana liikennekuorman maanpaine
 - pienin mahdollinen pystykuorma
 - yksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 12 / gr 14 pienin tukireaktio)
 - kaksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 22 / gr 24 pienin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
 - kuormitustapaus (RT6), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_9)
 - määräävänä kuormana liikennekuorman maanpaine
 - suurin mahdollinen pystykuorma
 - yksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 12 / gr 14 suurin tukireaktio)
 - kaksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 22 / gr 24 suurin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina

Kalliolle ja maan varaan perustetulla maatuilla poikittaiset vaakakuormat ja epäkeskisydet käsitellään normaalisti, mutta paaluille perustetuilla maatuilla ei yleensä käytetä poikittain vinoja paaluja, koska normaaleilla silloilla poikittaisten kuormien katsotaan jäävän siirtyvän maatuen rakenteiden kautta penkereeseen. Paaluille perustettaessa peruslaatan alapinnan tasolle laskettu pystykuorman epäkeskisyys otetaan kuitenkin huomioon paalutusta suunniteltaessa. Suurilla silloilla maatukien ollessa massaltaan pieniä, voidaan vaakakuormat joutua ottamaan poikkisuuntaan vinoilla paaluilla.

Ratasiltojen välitukien, joilla on kiinteä laakeri, perustuksia mitoitettaessa normaalitytapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (RT7), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 11 tai gr 13
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 21 tai gr 23
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määräävän kuormaryhmän pienin tukireaktio)
 - jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvolla ja keskipako- ja sivusysäyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT8), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määräävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määräävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24

- pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määrävän kuormaryhmän pienin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT9), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määrävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 11 tai gr 13
 - määrävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 21 tai gr 23
 - suurin mahdollinen pystykuorma (NW ja määrävän kuormaryhmän suurin tukireaktio)
 - jarru-/kiihdytyskuorma täydellä arvolla ja keskipako- ja sivusysäyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT10), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määrävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määrävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - suurin mahdollinen pystykuorma (HW ja määrävän kuormaryhmän suurin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina

Ratasiltojen välitukien, joilla on liikkuva laakeri, perustuksia mitoitettaessa normaali-tapauksissa mitoitettavat / käsiteltävät kuormitusyhdistelmät ovat:

- kuormitustapaus (RT11), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määrävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määrävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - pienin mahdollinen pystykuorma (HW ja määrävän kuormaryhmän pienin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT12), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_1)
 - määrävänä kuormana yksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 12 tai gr 14
 - määrävänä kuormana kaksiraiteisella sillalla kuormaryhmä gr 22 tai gr 24
 - suurin mahdollinen pystykuorma (HW ja määrävän kuormaryhmän suurin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuina
- kuormitustapaus (RT13), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_4 tai MRT_8)

-
- määräävänä kuormana tuuli- tai jääkuorma
 - pienin mahdollinen pystykuorma
 - yksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 12 / gr 14 pienin tukireaktio)
 - kaksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 22 / gr 24 pienin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna
 - kuormitustapaus (RT14), (vastaa liitteen 6 kuormitusyhdistelmää MRT_4 tai MRT_8)
 - määräävänä kuormana tuuli- tai jääkuorma
 - suurin mahdollinen pystykuorma
 - yksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 12 / gr 14 suurin tukireaktio)
 - kaksiraiteisella sillalla (HW ja kuormaryhmän gr 22 / gr 24 suurin tukireaktio)
 - keskipako- ja sivusysäyskuorma täydellä arvolla ja jarru-/kiihdytyskuorma puolella arvolla
 - muut muuttuvat kuormat ao. ψ_0 -arvoilla kerrottuna

Kolme- ja useampiraiteisilla silloilla on lisäksi tarkastettava kuormaryhmän gr 31 vaikutus.

Kuormaryhmät, jotka sisältävät SW/2 kuormakaavion, tulee ottaa huomioon, mikäli ne ovat määrääviä.

EQU rajatilassa tulee tarkastella myös kuormittamattoman junan tapaus (gr 15 ja kuormitusyhdistely MRT_5).

Lisäksi tulee tarkastella Liikenneviraston soveltamisohjeen ”Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1” onnettomuusmitoitustilanteet liitteen 6 onnettomuuskuormitusyhdistelmillä. Onnettomuusmitoitustilanteessa perustus ei saa murtua, liukua eikä kaatua jäykkänä kappaleena:

- NCCI 1 kappaleen B.6.7.1 mukainen suistumiskuorma
- Törmäys alapuolisiin rakenteisiin (NCCI 1 kappaleet F.4.3.1, F.4.3.2, F.4.5 ja F.4.8)

5 Mitoitus perustamistavoittain

5.1 Antura- ja laattaperustukset

5.1.1 Kallionvarainen perustaminen

5.1.1.1 Kantokestävyys STR/GEO DA2*

Suoraan tai $\leq 0,5$ metrin murskekerroksen välityksellä kalliolle perustettaessa pohjapaineen jännitysjakautuman oletetaan olevan lineaarinen. Kallion ja perustuksen välille ei katsota muodostuvan vetojännityksiä. Yleensä tarkastellaan perustuksen nurkkajännitystä.

Kallion kantokestävyys määritetään aina kalliotutkimusten perusteella, jos kantokestävyuden mitoitusarvoa laskettaessa käytettävälle kallion kestävyuden ominaisarvolle käytetään suurempaa arvoa kuin 8,0 MPa. Kantokestävyyttä määritettäessä osavarmuusluvulle käytetään arvoa 1,55.

Perustettaessa kalliolle murskekerroksen välityksellä, lineaarisen pohjapaineen jännitysjakautuman perusteella laskettu nurkkajännityksen mitoitusarvo ei ilman erillisiä selvityksiä saa olla suurempi kuin 0,75 MPa. Murskekerroksen paksuuden tulee aina olla $\leq 0,2x$ (perustuksen pienempi sivumitta) kuitenkin korkeintaan 0,5 metriä. Muussa tapauksessa perustaminen käsitellään maanvaraisena kohdan 5.1.2 mukaisesti.

Kuormien yhdistelyt tehdään kansallisen liitteen taulukon A.3a(FI) mukaisia yhdistelykertoimia ja osavarmuuslukuja käyttäen.

Mitoitusehto:

nurkkajännityksen mitoitusarvo \leq kallion kantokestävyuden mitoitusarvo.

Kantokestävyuden kannalta mitoittavia ovat yleensä kuormitustapaukset, joissa on mukana suurin pystykuorma ja sitä vastaavat vaakakuormat. Kuormitustapaukset, joissa on suurimmat vaakakuormat ja niitä vastaavat pienimmät pystykuormat voivat antaa suurempia pohjapaineita, mutta yleensä kaatuminen (EQU, kohta 5.1.1.2) tulee tällöin perustuksen kokoa mitoittavaksi.

5.1.1.2 Kaatuminen EQU

Kalliolle perustettaessa kaatumistarkastelu tehdään perustuksen uloimman reunan suhteen molemmissa pääsuunnissa.

Murskekerroksen varaan perustettaessa kaatumiskiertopisteeksi otetaan perustuksen reunalla olevan 0,8 MPa:n pohjapaineen mukaan lasketun tehollisen pohjapinnan keskipiste. Tehollisen pohjapinnan kaatumissuuntaa vastaan kohtisuoran sivun pituudeksi voidaan ottaa tällöin perustuksen vastaava mitta. Edellä kohdassa 5.1.1.1. murskekerroksen paksuudelle esitetyn ehdon tulee olla voimassa.

Kuormien vaikutusten mitoitusarvo on kaatumistarkasteluissa kuormien momentti edellä esitetyn kaatumiskiertopisteen suhteen. Mitoitusarvoja laskettaessa käytetään liitteen 1 taulukon A.1(FI) mukaisia kuorman osavarmuuslukuja.

Mitoitusehto:

Vakauttavien kuormien vaikutusten mitoitusarvo \geq kaatavien kuormien vaikutusten mitoitusarvo

Varmuutta kaatumista vastaan voidaan lisätä jännittämättömillä harjateräsankkureilla, mutta ilman ankkureitakin pysyvien kuormien vaikuttaessa em. mitoitus ehdon tulee olla voimassa.

Lisättäessä varmuutta kaatumista vastaan jännitetyin ankkurein niiden tulee olla suojattu korroosiota vastaan. Lisäksi kallion ja perustuksen välisen rajapinnan tulee olla puristettu kaikissa kuormitustapauksissa käyttörajatilan ominaisyhdistelmälle.

Kaatumistarkasteluissa ovat yleensä määrääviä kohdassa 4.8 esitetyt kuormitustapaukset, joissa pystykuormalla on pienin arvo.

Sillan välituilla, joissa pilarit ovat jäykästi kiinni sillan kannessa, ei yksittäisen pilarin kaatumistarkastelu ole tarpeen, jos sillan rakenteet on mitoitettu kestävästi rakenteisiin syntyvät rasitukset eikä kallion kantokestävyyttä ylitetä.

Maa- tai välituen kaatumistarkastelulla on useimmiten peruslaatan kokoon mitoitettava vaikutus kuin normaalin suomalaisen kallion kantokestävyydellä.

5.1.1.3 Liukuminen STR/GEO DA2*

Liukumistarkastelu tehdään aina vaakakuorman suurimman resultantin suuntaan, jos kallion tai murskekerroksen yläpinta on vaakasuora. Kallion pinnan voidaan olettaa olevan vaakasuoran, jos se on louhittu ja sen kaltevuus $\leq 15^\circ$ tai sen pinta on louhittu portaittaiseksi. Jos kallion pinta on louhimaton, kaltevampi kuin 15° tai murskekerroksen yläpinta kalteva on se otettava huomioon liukuvarmuutta laskettaessa.

Liukumiskestävyyden mitoitusarvo lasketaan kaavasta:

$$V'_d \tan(\delta_k) / \gamma_{R,h} \quad (5.1)$$

jossa

δ_k on maan ominaisleikkauskestävyysskulma

V'_d on pystykuormien mitoitusarvo ($V'_d = V'_k$).

Liukukestävyyden osavarmuusluvulle $\gamma_{R,h}$ käytetään arvoa 1,10.

Kuormien mitoitusarvoja laskettaessa käytetään liitteen 1 taulukon A.3a(FI) mukaisia kuorman osavarmuuslukuja.

Mitoitusehto:

Vaakasuorien kuormien resultantin mitoitusarvo \leq liukumista estävien kuormien mitoitusarvon ja liukumiskestävyyden summa.

Louhitulle kalliolle perustettaessa kertoimelle $\tan(\delta_k)$ (kitkakertoimelle) voidaan käyttää arvoa 1,0, ellei kiven heikko laatu edellytä käytettäväksi tätä pienempää arvoa. Kitkakerrointa voidaan suurentaa kallion ominaisuuksista (puristuslujuus, lustosuunnat, kitkakerroin) tehtyjen kokeiden perusteella. Luonnolliselle kallionpinnalle perustettaessa kitkakertoimelle voidaan käyttää arvoa 0,6. Leikkauskestävyyskulmana voidaan käyttää murskekerroksen varaan perustettaessa ja valettaessa perustus mursketta vasten murskeen ominaisleikkauskestävyyskulmaa. Jos perustusta ei valeta paikalla maata vasten (esimerkiksi elementtiperustus), ominaisleikkauskestävyyskulmana voidaan käyttää arvoa $\frac{2}{3}$ leikkauskestävyyskulma. (ks. 5.1.2.3)

Jännittämättömiä teräsankkureita ei saa käyttää liukumisvarmuuden laskennolliseen lisäämiseen.

Liukumista estävät kuormat voidaan ottaa mukaan vain jos niiden pysyvyydestä voidaan olla varmoja.

Maatukien liukumistarkastelulla on yleensä mitoittavaa merkitystä kallion varaan perustettaessa, koska kallion kantokestävyyden kannalta perustusten koko voi olla yleensä pieni, jolloin myös maatuen perustuksille maan painosta tuleva kuorma jää pieneksi. Tämä korostuu erityisesti, kun sillan päällysrakenne on kevyt (puu- tai teräsrakenteinen).

Siltojen välituilla liukumisvarmuudella ei ole yleensä mitoittavaa merkitystä muille kuin onnettomuuskuormille (törmäys pilariin) ja tällöinkin vain päällysrakenteen ollessa kevyt.

Liukumistarkasteluissa määräävät kuormitustapaukset (vrt. kohta 4.8) ovat yleensä samoja kuin kaatumistarkasteluissa eli tapaukset, joissa pystykuormalla on pienin arvo ja vaakakuormilla suurin vastaava arvo.

5.1.1.4 Käyttörajatila SLS

Käyttörajatilatarkasteluilla ei ole yleensä mitoittavaa merkitystä suoraan kalliolle tai sen päälle tehdyn murskekerroksen varaan perustettaessa.

5.1.2 Maanvarainen perustaminen

5.1.2.1 Kantokestävyys STR/GEO DA2*

Maanvaraisen perustuksen kantokestävyys lasketaan liitteen 4 mukaisesti. Muun laskentamenetelmän käyttö edellyttää Liikenneviraston hyväksymistä.

$$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma \quad (5.2)$$

Kertoimien arvot on esitetty liitteessä 4.

Kantokestävyyttä laskettaessa käytetään maaparametrien ominaisarvoja ja näin saatu kantokestävyyden ominaisarvo jaetaan osavarmuusluvulla 1,55, joka on esitetty liitteen 1 taulukossa A.13(FI).

Kuormien mitoitusarvoja laskettaessa käytetään liitteen 1 taulukon A.3a(FI) mukaisia kuorman osavarmuuslukuja.

Mitoitusehto:

Pystykuormien mitoitusarvo \leq pysty- ja vaakakuormia vastaavalle teholliselle pohjapinnalle laskettu kantokestävyyden mitoitusarvo

Pohjavedenpinnan asema otetaan aina huomioon kantokestävyyttä laskettaessa epäedullisimman tilanteen mukaan.

Alle 0,5 metrin murskekerroksen välityksellä kalliolle perustettaessa pohjapaineen jännitysjakautuman oletetaan olevan lineaarinen ja mitoitustarkastelut tehdään kuten kallionvaraiselle perustukselle (vrt. kohta 5.1.1.1 edellä).

Kantokestävyyden kannalta mitoittavia ovat yleensä kuormitustapaukset, joissa on mukana suurin pystykuorma ja sitä vastaavat vaakakuormat.

5.1.2.2 Kuorman epäkeskisyyden huomioiminen

Siitä huolimatta, että maan varaan perustettaessa edellisen kohdan mukainen mitoitusehto täyttyy, tulee pystykuorman resultantin aina sijaita DA2* menettelyä käytettäessä sellaisen ellipsin sisällä, jonka puoliakselit ovat peruslaatan sivumittojen kolmannekset ja keskipiste peruslaatan keskipiste. Lisäksi pysyvien pystykuormien resultantin tulee tällöin olla perustuksen sydänkuvion sisällä.

5.1.2.3 Liukuminen STR/GEO DA2*

Liukumistarkastelu tehdään aina vaakakuorman suurimman resultantin suuntaan.

Liukumiskestävyys lasketaan kaavasta:

$$V'_d \tan(\delta_k) / \gamma_{R,h}, \quad (5.3)$$

jossa δ_k on maan ominaisleikkauskestävyysskulma, jolle voidaan käyttää leikkauskestävyysskulman arvoa, jos perustus on valettu maan varaan ja arvoa $\frac{2}{3}$ leikkauskestävyysskulma elementtiperustuksia käytettäessä. V'_d on pystykuormien mitoitusarvo ($V'_d = V'_k$). Liukukestävyyden osavarmuusluvulle $\gamma_{R,h}$ käytetään arvoa 1,10.

Liukumista estävät kuormat voidaan ottaa mukaan vain, jos niiden pysyvyydestä voidaan olla varmoja. Kuormien mitoitusarvoja laskettaessa käytetään liitteen 1 taulukon A.3a(FI) mukaisia kuorman osavarmuuslukuja.

Mitoitusehto:

Vaakasuurien kuormien resultantin mitoitusarvo \leq liukumista estävien kuormien mitoitusarvon ja liukumiskestävyyden summa.

Perustettaessa louhitun kallion päälle rakennetun murskekerroksen varaan, liukumistarkastelu tehdään kuten maanvaraiselle perustukselle käyttäen tarkastelussa murskeen leikkauskestävyysskulmaa (vrt. kohta 5.1.1.3 edellä).

Maanvaraisten maatukien liukumistarkastelulla on yleensä merkitystä vain rakennusaikaisissa tilanteissa, kun päällysrakenteen paino ei vielä kuormita rakennetta tai kun päällysrakenne on kevyt (puuta tai terästä).

Siltojen välituilla liukumisvarmuudella ei yleensä ole perustusten kokoa mitoittavaa merkitystä muulloin kuin onnettomuustilanteissa (törmäys pilariin) ja tällöinkin vain päällysrakenteen ollessa kevyt.

Liukumistarkasteluissa määrääviä ovat yleensä vain kuormitustapaukset (vrt. kohta 4.8), joissa pystykuormalla on pienin arvo ja vaakakuormilla suurin vastaava arvo.

5.1.2.4 Painumat SLS

Perustusten painumat lasketaan ottaen huomioon pysyvät kuormat ja liikennekuormat ominaisarvoillaan.

Painumat voidaan laskea yleisesti tunnetuilla menetelmillä (esimerkiksi Ohde-Janbun menetelmä) tai tarkemmin elementtimenetelmillä.

Perustusten kallistumista voidaan laskea sen eri kulmissa / reunoilla laskettujen painumien perusteella.

Sillan tukien sallittuja painumia ja päällysrakenteen mitoituksessa käytettäviä epätasaisia painumia määritettäessä tulee ottaa huomioon päällysrakenteen tyyppi ja rautatiesillan osalla myös radan kunnossapitoluokka. Teräsbetoninen tai jännitetty betoninen jatkuva päällysrakenne sietää oleellisesti pienemmät tukien epätasaiset painumat kuin vastaava teräksinen päällysrakenne. Yksijänteisillä silloilla ei päällysrakenteen tyyppillä luonnollisestikaan ole väliä sallittuja painumia määritettäessä.

Toisaalta sallittuja painumia tai päällysrakenteen mitoituksessa käytettäviä epätasaisia painumia määritettäessä tulee ottaa huomioon painumisen nopeus. Esimerkiksi päällysrakenteen ollessa kevyt, alusrakenteiden massiivisia ja maan karkearakeista kitkamaata kehittyä suurin osa painumista jo ennen päällysrakenteen rakentamista. Siltojen päällysrakenteita mitoittaessa tulisi kuitenkin aina käyttää tukien välistä vähintään 10 mm:n suuruista painumaeroa.

5.1.2.5 Kokonaisstabiliteetti STR/GEO DA3

Kokonaisstabiliteetti tarkastetaan kohdan 5.5 Luiskat ja maanvaraiset penkereet mukaan.

5.2 Paaluperustukset

5.2.1 Yleistä

Paalutusten osalta noudatetaan pääsääntöisesti Paalutusohjetta 2011. Tässä soveltamisohjeessa annetaan täydentäviä ohjeita koskien lähinnä siltoja. Näitä ohjeita voidaan kuitenkin soveltaa myös muita taitorakenteita suunniteltaessa.

Sillat kuuluvat seuraamusluokkiin CC2 tai CC3 ja niiden perustukset yleensä geotekniseen luokkaan GL2 tai erikoistapauksissa luokkaan GL3.

Paalutusohjeen 2011 osan 1 taulukon 4.18 mukaisesti siltojen paalutukset kuuluvat siten joko paalutustyöluokkaan PTL2 tai PTL3 siten, että tavanomaisten siltojen paa-

lutukset geoteknisen luokan GL2 mukaisissa olosuhteissa kuuluvat yleensä paalutusluokkaan PTL2 ja kaikki muut siltojen paalutukset paalutustyöluokkaan PTL3. Paalutustyöluokka määritetään siltakohtaisesti, mahdollisesti jopa tukikohtaisesti.

Paalulaattojen paalutukset kuuluvat paalutustyöluokkaan PTL2 ellei tapauskohtaisesti toisin sovita.

5.2.2 Tukipaalu

5.2.2.1 Puristuskestävyys STR/GEO DA2*

Paalujen puristuskestävyys määräytyy joko paalun rakenteellisen tai geoteknisen kestävyden perusteella: puristuskestävyyden mitoitusarvo on joko paalun rakenteellisen kestävyden mitoitusarvo tai geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo riippuen siitä, kumpi on pienempi.

Mitoitusehto:

paalun kuorman mitoitusarvo \leq paalun puristuskestävyyden mitoitusarvo,

Siltarakenteissa käytetään lähes pelkästään tukipaaluja, joiden geotekninen puristuskestävyys määräytyy paalun kärjen kantokestävyiden perusteella. Porapaalut ja kaivinpaalut ulotetaan yleensä kallioon, jolloin kallion lujuus ja rakenne määräävät paalun geoteknisen puristuskestävyyden. Ehjään suomalaiseen kallioon tukeutuvan paalun kärjen kantokestävyys ei yleensä ole mitoittava, vaan kestävyys määräytyy paalun rakenteen kestävyiden perusteella.

Porapaalun (geotekninen) puristuskestävyys

Porapaalujen geotekninen puristuskestävyys osoitetaan laskennallisesti pohjatutkimuksiin perustuen.

Kallioon tukeutuvan **porapaalun** kärjen geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo voidaan arvioida PO 2011:n osan 1 kohdan 4.5.2 mukaisesti. Geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo saadaan kestävyiden ominaisarvosta jakamalla osavarmuusluvulla $\gamma_{qu}=1,5$.

Porapaalun geotekninen puristuskestävyys varmistetaan poraamalla paalu ehjään tai injektoimalla vahvistettuun kallioon vähintään mitan $3 \cdot d$ verran - kuitenkin vähintään 0,5 m. Kalliokontakti porauksen päättymisen jälkeen varmistetaan lyömällä ”loppu-tai tarkastuslyönnit” poravasaralla paalun yläpäähän. Kestävyys varmistetaan jokaisen porapaalun osalta erikseen.

Porapaalun kärki oletetaan kallioon tukeutuvaksi, kun sekä poraushavainnot, että pohjatutkimukset tukevat tulkintaa samanaikaisesti.

Kaivinpaalun geotekninen puristuskestävyys

Kaivinpaalun geotekninen puristuskestävyys osoitetaan laskennallisesti tukeutumalla pohjatutkimuksiin ja työn aikana tehtyihin maaperähavaintoihin (maalaji, kaivuvaikeus).

Kallioon tukeutuvan **kaivinpaalun** geotekninen puristuskestävyys mitoitetaan ohjeen PO 2011:n osan 1 kohdan 4.5.2 mukaisesti.

Kaivinpaalun pohjan tukeutuminen kallioon voidaan varmistaa injektoimalla kontaktipinta.

Lyöntipaalun puristuskestävyys

Lyöntipaalun geotekninen puristuskestävyys osoitetaan yleensä dynaamisella koekuormituksella.

Paalun geoteknistä puristuskestävyyden ominaisarvoa määritettäessä otetaan huomioon pohjatutkimusten kattavuus (niiden määrä) ja tapa (kairaukset / koekuormitukset), peruslaatan kyky jakaa kuormia paaluille ja koekuormitusta käytettäessä vielä tulosten hajonta.

Paalun geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvon määrittäminen tapahtuu standardin SFS-EN 1997-1 ja sen kansallisen liitteen mukaan. Paalun geoteknisen puristuskestävyyden mitoitusarvo määritetään dynaamisten koekuormitusten perusteella kaavasta:

$$R_{c;d} = R_{c;k} / \gamma_R \quad (5.4)$$

jossa

$R_{c;k}$ on $R_{c;m} / \xi$ paalun geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo
 $R_{c;m}$ koekuormitustulosten keskiarvo $R_{c;m;mean}$ tai pienin arvo $R_{c;m;min}$
 ξ korrelaatiokerroin, ξ_5 kohdistetaan keskiarvoon $R_{c;m;mean}$ ja ξ_6 arvoon $R_{c;m;min}$
 γ_R paalun kestävyysosavarmuusluku

Paalun geoteknisen puristuskestävyyden ominaisarvo $R_{c;k}$ on $R_{c;m;mean}$ ja $R_{c;m;min}$ perusteella lasketuista $R_{c;k}$ -arvoista pienempi.

Osavarmuusluku $\gamma_{R,v}$ on liitteen 1 taulukkojen A.6(FI), A.7(FI) ja A.8(FI) mukaisesti sama paalun kärjen, vaipan ja yhdistetylle kestävyydelle paalutyypistä riippumatta ja suuruudeltaan 1,20.

Korrelaatiokertoimen arvo riippuu dynaamisesta koekuormitusta käytettäessä koestettujen paalujen lukumäärästä n tai prosentuaalisesta osuudesta seuraavasti (Paalutusohje 2011, osa1, taulukko 4.10):

Taulukko 5.1 Korrelaatiokertoimen määräytyminen

ξ kun $n=$	2-4 / 1-5 %	5-9 / 5-40 %	10-14 / 40-65 %	15-19 / 65-90 %	≥ 20 / 90-100 %
ξ_5	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
ξ_6	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

Lukumäärällä n tarkoitetaan geoteknisen kestävyys kannalta samanlaisissa ohjasuhteissa tehtyjen samanlaisten paalujen mittausten lukumäärää tai osuutta paalujen kokonaismäärästä. Kappalemäärän tai prosenttiosuuden mukaan valitaan se, jonka perusteella saadaan pienempi korrelaatiokerroin.

Taulukon ξ -arvoja sovelletaan kuhunkin sillan tukeen erikseen. Sillan kunkin tuen paalujen voidaan yleensä olettaa olevan samanlaisissa olosuhteissa.

Jos tuki on perustettu vain yhden paalun varaan, käytetään kerrointa ξ_5 ja sille arvoa 1,60.

ξ -arvot kerrotaan mallikertoimella 1,05, kun paalupituudet vaihtelevat voimakkaasti tai vastaava kokemus dynaamisista koekuormituksista on vähäinen.

ξ -arvot voidaan kertoa mallikertoimella 0,9, kun käytetään signaalinsovitusta.

ξ -arvot voidaan kertoa luvulla 0,9 myös ilman signaalinsovitusta silloin, kun paalut tukeutuvat luotettavasti varmistettuun kallioon ja paalun geotekninen kestävyys riippuu lähinnä sen rakenteen kestävydestä.

Useampia edellä mainittuja mallikertoimia käytettäessä ξ -arvot kerrotaan kaikkien käytettävien mallikertoimien tulolla. Signaalinsovituksen ja luotettavan kalliolle perustamisen mallikertoimia ei kuitenkaan voida ottaa yhtäaikaaisesti huomioon.

Mikäli perustuksessa on erilaisia paaluja, niin samanlaisten paalujen ryhmät käsitellään erillisinä, kun paalujen lukumäärää n määritetään.

Sillan tukien peruslaatat ovat yleensä riittävän jäykkiä ja lujia siirtämään kuormia ”heikoilta” paaluilta ”vahvoille” paaluille. Tällöin kertoimet ξ_5 ja ξ_6 voidaan jakaa luvulla 1,05, kun tuki on perustettu vähintään 8 paalun varaan, luvulla 1,10, kun tuki on perustettu vähintään 16 paalun varaan. Tämä koskee myös muita riittävän jäykkiä taitorakenteita, joissa vaakakuormat otetaan aksiaalisilla paaluvoimilla. Paalulaatoilla tätä reduktiota ei voida tehdä.

Negatiivinen vaippahankaus käsitellään aina paalun kuormana eikä paalun puristuskestävyyttä redusoida (kohta 4.6.5 edellä).

Lyöntipaaluja käytettäessä paalujen puristuskestävyys arvioidaan suunnitteluvaiheessa seuraavasti:

1. Tutkimusten, paalun ja lyöntikaluston perusteella sekä toteutusvaiheessa syntyvien mittaustulosten hajonta arvioiden määritetään saavutettavissa oleva $R_{c,m}$.
2. Määritetään tehtävien PDA-mittausten määrä, jolloin saadaan ξ
3. Edellisten perusteella lasketaan $R_{c,k}$ ja $R_{c,d}$

$R_{c,m}$ määritetään (kohta 1) lähtökohtana paalun lyönninkestävyys, joka määrittelee paalun geoteknisen kestävyysmaksimiarvon $R_{k,geo,max}$ ($R_{c,m} < R_{k,geo,max} \leq R_{lyöntikestävyys}$). $R_{k,geo,max}$ määritetään paalulle asennuksessa sallittavan suurimman lyöntijännityksen ja paalutusohjeen PO-2011 taulukosta 4.19 valitun paalutustyyppiä (PTL3 tai PTL2) perusteella. Lisäksi arvo $R_{k,geo,max}$ tarkistetaan teräsbetonipaalulla momentinkestävyyden (PO-2011:n kohta 4.7.2.1) suhteen sekä teräspaalulla seinämän stabiliteetin suhteen. Paalulle sallittava suurin lyöntijännitys määritetään käytännössä seuraavasti:

- Paalutustyyppiä PTL3 teräspalkkipaalun geoteknisen puristuskestävyyden murtoarvo $R_{c,m}$ ($= \gamma \cdot \xi \cdot R_{c,d}$) saa aiheuttaa paalun vaippaputkeen keskeisen puristusjännityksen, joka on korkeintaan 90 % paaluteräksen myötörajasta ellei paalun seinämän stabiliteetti vaadi tätä pienempää jännitystasoa. Paalutustyyppiä PTL2 mukaisen teräspalkkipaalun geoteknisen puristuskestävyyden suurinta arvoa vastaava jännitys on 72 % paaluteräksen myötörajasta. Teräspalkkipaaluja suunniteltaessa suositellaan kuitenkin käytettäväksi paalutustyyppiä PTL3 paalun murtokestävyydelle arvoa, joka vastaa 80...90 % teräksen myötörajasta, ja paalutustyyppiä PTL2 arvoa, joka on 60...70 % teräksen myötörajasta.
- Paalutustyyppiä PTL3 teräsbetonipaalun murtokestävyys $R_{c,m}$ ($= \gamma \cdot \xi \cdot R_{c,d}$) saa aiheuttaa paaluun keskeisen puristusjännityksen, joka on korkeintaan 80 % paalun betonin ominaispuristuslujuudesta. Paalutustyyppiä PTL2 mukaisen teräsbetonipaalun geoteknisen puristuskestävyyden suurinta murtoarvoa vastaava jännitys on 64 % paalun betonin ominaislujuudesta. Teräsbetonipaalusta suunniteltaessa suositellaan kuitenkin käytettäväksi paalutustyyppiä PTL3 paalun murtokestävyydelle arvoa, joka vastaa 70...80 % paalun betonin ominaislujuudesta ja paalutustyyppiä PTL2 arvoa, joka on 55...65 % paalun betonin ominaislujuudesta.

Paalun ja sen varusteiden vetojännityksen kestävyys saattavat rajoittaa rakenteen lyönninkestävyyttä. Paalun kestävyys käyttötilassa on tarkistettava, koska mm. paalun nurjahdusriski ja alkukäyryys voivat pienentää tavoitellun geoteknisen kestävyysarvoa.

Suunnitteluvaiheessa tulee myös varmistaa, että saatavilla on paalutyyppisiä, joiden rakenne täyttää PO-2011:n kohdan 4.7.2 vaatimukset ja jotka soveltuvat suunniteltuihin pohjaolosuhteisiin.

Toteutusvaiheessa tehdään kohdan 2 mukaiset dynaamiset koekuormitukset, joilla varmistetaan että paalun geotekninen puristuskestävyys on riittävä.

Sillan jokaisen tuen paaluista (n kpl) tulee koekuormittaa dynaamisesti seuraava prosentuaalinen määrä paaluista:

n =	≤4	5-8	9-16	17-32	33-64	≥65
%-osuus =	100	≥80	≥60	≥40	≥30	≥20

Paalulaattojen paaluista tulee koekuormittaa dynaamisesti kullakin liikuntasauvojen rajaamalla paalulaatan osalla vähintään 5 % paaluista, kuitenkin vähintään 5 paalua. Koekuormitettavat paalut on valittava niin, että ne edustavat kattavasti koko paalukenttää.

5.2.2.2 Vetokestävyys STR/GEO DA2*

Paalujen vetokestävyyttä voi käyttää yleensä koheesiomaalajeissa hyväksi vain lyhytaikaisille kuormille.

Mitoitusehto:

paalun kuorman mitoitusarvo ≤ paalun vetokestävyuden mitoitusarvo

Tukipaalujen vetokestävyyttä ei yleensä määritellä koekuormitusten vaan pohjatutkimusten pohjalta arvioitujen maaparametrien perusteella. Paalun vetokestävyys määräytyy yleensä paalun geoteknisen vetokestävyuden perusteella. Paalun rakenteellinen kestävyys tulee yleensä paalun vetokestävyuden kannalta määrääväksi vain ankkuroiduissa paaluissa.

Paalun geotekninen vetokestävyys lasketaan kaavasta:

$$R_{t;d} = R_{t;k} / \gamma_{s;t} \quad (5.5)$$

jossa

$R_{t;k}$	on $R_{t;m} / \xi$ paalun geoteknisen vetokestävyuden ominaisarvo
$R_{t;m}$	vaippakitkan murtolujuuden keskiarvo $(R_{s;cal})_{mean}$ tai pienin arvo $(R_{s;cal})_{min}$
ξ	korrelaatiokerroin, ξ_3 kohdistetaan arvoon $(R_{s;cal})_{mean}$ ja ξ_4 arvoon $(R_{s;cal})_{min}$
$\gamma_{s;t}$	vetokestävyuden osavarmuusluku

Korrelaatiokertoimella ξ_3 jaetaan tutkimustulosten perusteella lasketun vaippakitkan murtoarvon keskiarvo $(R_{s;cal})_{mean}$ ja korrelaatiokertoimella ξ_4 tutkimustulosten perusteella lasketun vaippakitkan murtoarvon pienin arvo $(R_{s;cal})_{min}$. Paalun vetokestävyuden ominaisarvo $R_{t;k}$ on näiden perusteella lasketuista $R_{t;k}$ -arvoista pienempi.

Taulukko 5.2 Korrelaatiokertoimet ξ ominaisarvon johtamiseksi pohjatutkimustuloksista (n = tutkimuspisteiden* lukumäärä)

ξ kun n=	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1,85	1,77	1,73	1,69	1,65	1,62	1,60
ξ_4	1,85	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40

*suunnittelualueen samantyyppisissä pohjasuhteissa laskettujen, likimain samanpituisten paalujen lukumäärä. Kunkin paalun laskennan tulee perustua paalun läheisyydestä tehtyyn pohjatutkimuspisteeseen. Laskennan perusteena olevan pohjatut-

kimuspisteen tulee kattaa koko paalun pituus sekä soveltua vetokestävyyden laskentaan.

Vetokestävyyden ominaisarvo voidaan laskea kaavalla:

$$R_{t;k} = \sum A_{s;j} \cdot q_{s;j;k} \quad (5.6)$$

missä $q_{s;j;k}$ on maapohjan ominaisuuksien avulla laskettu vaippakitkan ominaisarvo eri kerroksissa.

Vetokestävyyden osavarmuusluvulle annetaan liitteen 1 taulukoissa A.6(FI), A.7(FI) ja A.8(FI) paalutyypistä riippumatta pysyville kuormille arvo 1,50 ja lyhytaikaisille kuormille arvo 1,35.

5.2.2.3 Kestävyys vaakakuormille STR/GEO DA2 ja DA2*

Mitoitettaessa paaluryhmiä, joissa on vaakakuormitusten suuntaan vinoja paaluja, kaikki vaakakuormat otetaan paalujen aksiaalisilla rasituksilla. Paalujen maasta saama vaakatukea ei yleensä käytetä rakenteeseen vaikuttavien vaakakuormien ottamiseen.

Maan liikkeistä paaluihin tuleva rasitukset tulee ottaa huomioon paaluja mitoitettaessa siitä huolimatta, että paaluilla on tarkoitus ottaa pelkkiä aksiaalisia rasituksia.

Vaakakuormien tai -siirtymien rasittamien paalujen voimasuureet lasketaan käyttämällä rakennemallia, joka ottaa huomioon sekä paalun että maan muodonmuutosominaisuudet. Tämä voi tapahtua esimerkiksi kuvaamalla maan ominaisuuksia paaluja tukevilla jousilla. Tarkastelu on varmalla puolella, jos kuormien osavarmuusluvut kohdistetaan jo kuormiin, eikä niiden vaikutuksiin (paaluja tukeviin jousivoimiin / paaluun vaikuttavaan vaakapaineeseen). Tämä vastaa mitoitusmenetelmää DA2. Jos osavarmuusluvut kohdistetaan vasta jousivoimiin (DA2*), tarkastelu on jonkin verran epävarmalla puolella, koska paalun kimmoiset ominaisuudet eivät ole mukana kuin kuormien ominaisarvojen osuudella.

Maan kestävyden osavarmuusluku on 1,55.

Kummassakin tapauksessa on otettava huomioon maan 'vaakasuuntaisen kantokestävyyden' raja, jonka jälkeen jousen voima ei enää kasva, jolloin mallin käyttäytyminen muuttuu epälineaariseksi.

Kuten maan kantokestävyyttä määritettäessä osavarmuusluku kohdistetaan kestävyteen eikä ominaisuuksiin.

5.2.2.4 Nurjahduskestävyys STR/GEO DA2 ja DA2*

Yksittäisten paalujen nurjahduskestävyys tulee tarkastaa hoikille paaluille (sivumitta tai halkaisija < 250 mm), jos paalu on kokonaan tai osittain ilmassa, vedessä tai maassa, jonka suljettu leikkauslujuus on pienempi kuin 20 kPa. Muille maassa oleville paaluille nurjahduskestävyys tulee tarkistaa, kun suljettu leikkauslujuus on pienempi kuin 10 kPa. Jos eloperäisen maakerroksen leikkauslujuus on pienempi kuin 5 kPa, ei sitä saa käyttää laskennallisesti hyväksi nurjahdustarkasteluissa.

Paalun nurjahdustarkastelu voidaan suorittaa esimerkiksi rakennemallilla, jossa maan paalua tukeva vaikutus kuvataan jousilla tai Paalutusohjeen 2011 kohdan 4.7.4 esittämällä tavalla. Tarkastelu tulee tehdä DA2:n mukaan, jolloin kuorman osavarmuusluvut kohdistetaan kuormien ominaisarvoihin ja maan kestävyys osavarmuusluku (1,55) kohdistetaan 'jousien kestävyys ominaisarvoihin'. Itse jouset lasketaan maan ominaisuuksien ominaisarvoja käyttäen.

5.2.2.5 Paaluryhmä

Siltojen maa-, pääty- ja välitukien paalutukset ovat yleensä tukipaaluista muodostuvia paaluryhmiä tai suoraan pyöreän pilarin alla olevia suuriläpimittaisia paaluja. Paaluryhmien paalut ovat maatuilla yleensä pystypaaluja ja eteenpäin vinoja paaluja. Sillan poikkisuuntaan vinoja paaluja joudutaan käyttämään vain suurempien siltojen (yleensä rautatiesiltojen) maatuilla, kun itse maatuen omapaino on pieni. Välitukien paalutukset muodostuvat lähes poikkeuksetta kaikkiin neljään pääsuuntaan vinoista paaluista. Pystypaaluja on välituilla järkevää käyttää vain siinä tapauksessa, että pystykuormien ja vaakakuormien suhde on oleellisesti suurempi kuin vinopaalujen kaltevuus.

Myös paalulaattojen tukipaaluista muodostuvat paalutukset pitää laskennallisesti käsitellä paaluryhminä ja suunnitella niin, että kuormien jakautuminen ryhmän paaluille voi tapahtua laskelmassa oletetulla tavalla ilman, että itse teräsbetonisella laalla tarvitsee olla huomattavaa jäykkyyttä.

Paaluryhmien voimasuureiden laskenta tapahtuu normaalin statiikan mukaan ottaen tarpeen vaatiessa huomioon paalujen erilaiset pituudet ja poikkileikkausalat. Yksittäisten paalujen toleransseja ei laskennassa oteta huomioon, vaan tarkistuslaskenta suoritetaan rakentamisvaiheessa todellisilla paalujen asemilla, kaltevuuksilla ja pituuksilla, jos sallitut paalujen toleranssit ovat ylittyneet. Tarkistuslaskennassa paalujen suunnittelussa käytetty puristus- tai vetokestävyys voi ylittyä yksittäisen paalun osalla korkeintaan 15 %.

Koska paalujen toiminta on lineaarista ja sekä pysty- että vaakakuormat otetaan paalujen aksiaalisilla voimilla, johtaa paalun kuormien laskenta DA2- ja DA2*-menetelmällä samoihin paalun kuormiin.

5.2.3 Kitkapaalu

Kitkapaaluja käytetään yleensä vain kevyen liikenteen siltojen perustuksissa.

Paalujen puristus- ja vetokestävyydet määritetään PO 2011 esitettyjen periaatteiden mukaan.

ξ -arvot kerrotaan aina mallikertoimella 1,05.

5.2.4 Koheesiopaalu

Koheesiopaaluja ei yleensä käytetä pysyvissä rakenteissa.

Paalujen puristus- ja vetokestävyydet määritetään PO 2011 esitettyjen periaatteiden mukaan. Dynaamiset koekuormitukset eivät sovellu koheesiopaalujen kestävyysmittaukseen.

5.3 Ankkurointi

5.3.1 Murtorajatila STR/GEO DA2

Tässä luvussa käsitellään pysyviä ja väliaikaisia ankkureita, jotka ottavat vastaan rakennetta kuormittavia ulkoisia kuormia. Tässä kappaleessa ei käsitellä jännitettyjen rakenteiden sisäisiä ankkureita eikä maan naulausta. Ankkurien tapaan toimivia vedettyjä paaluja käsitellään kohdassa 5.2. Paaluperustukset.

Mitoitus tehdään STR/GEO rajatilassa mitoitusmenetelmällä DA2. Osavarmuusluvut kohdistetaan ankkurikuorman ja ulosvetokestävyyteen. Osavarmuuslukuina käytetään ankkurikuorman osalta taulukon A.3a(FI) arvoja ja ulosvetokestävyyden osalta taulukon A.12(FI) arvoja.

Ankkurien mitoitus perustuu epäyhtälöön:

$$P_d \leq R_d \quad (5.7)$$

Missä P_d on ankkurikuorman mitoitusarvo ja R_d ankkurin ulosvetokestävyyden mitoitusarvo. P_d :n arvo tulee johtaa joko murtorajatilan tai käyttörajatilän mukaisesta suurimmasta arvosta. Joissain tapauksissa voi käyttörajatilän ankkurikuorma olla murtorajatilaa suurempi johtuen käyttörajatilassa vallitsevasta suuremmasta maanpaineesta (~lepopaine).

Ankkurien mitoituksessa pitää huomioida sijainti- ja suuntaoikeamat, ankkuroinnin ja ankkurivoiman vaikutus ympäröiviin rakenteisiin, eri materiaalien jäykkyyserojen vaikutus, ankkurointipisteen riittävä etäisyys tuettavasta massasta ja ankkurien yhteistoiminta.

Korroosiosuojauksen suunnittelussa pitää noudattaa SFS-EN 1537 vaatimuksia.

KOEVETO:

SFS-EN 1997-1:ssä mainitaan kolme koetyyppiä: hyväksyntäkoee, soveltuvuuskoee ja tutkimuskoee. Käytettäessä tavanomaisia ankkurityyppejä, joista on Suomessa aikaisempaa kokemusta, tehdään vain hyväksyntäkoee. Soveltuvuus- ja tutkimuskoee liittyvät uusiin ankkurityyppeihin. Hyväksyntäkoeeella tarkoitetaan rakennuspaikalla tehtävää rakenteen osana toimivan ankkurin koevetoa, jolla varmistetaan, että ankkuri täyttää mitoitusvaatimukset. Hyväksyntäkoee tehdään sekä pysyville että väliaikaisille ankkureille. Koeveto tehdään kaikille pysyvän kuorman rasittamille ankkureille. Mikäli ankkuria rasittaa vain muuttuva kuorma tai ankkurit ovat esijännittämättömiä kallioankkureita, koevedetään ankkureista vähintään 20 % ja kaikkien ankkurien osalta kallion vesitiiveys todetaan vesimenekkikoeealla.

Koevetovoiman P_p tulee toteuttaa yhtälö:

$$P_p \geq 1,25P_d \text{ väliaikaisilla ankkureilla ja } 1,50P_d \text{ pysyvillä ankkureilla} \quad (5.8)$$

Ankkuri valitaan siten, ettei sen koevetovetovoima ylitä alla olevan epäyhtälön arvoa.

$$P_p < 0,9P_{t0,1k} \quad (5.9)$$

Missä R_k on ankkurin ulosvetokestävyyden ominaisarvo ja $P_{to,1k}$ on ankkurin vetovoima, joka vastaa 0,1% venymää.

MITOITUS:

Kuorma:

Ankkurointikuorman mitoitussarvo P_d lasketaan kappaleen 5.4 Maanpainerakenteet mukaisesti tai mikäli kyseessä on muu kuin maanpaineen rasittama rakenne, kappaleen 3 mukaisesti.

Kestävyys:

Kestävyyden mitoitussarvon määrittäminen perustuu koevetoon.

$$R_d = P_p / \gamma_a \quad (5.10)$$

Missä γ_a on esijännitettyjen ankkurointien osavarmuusluku, Liite 1. taulukko A.12(FI).

Jännittämättömille ankkureille käytetään samoja osavarmuuslukuja kuin esijännitetyille ankkureille.

Riittävän varmuuden toteaminen:

$$R_d > P_d \quad (5.11)$$

5.3.2 Käyttörajatila

Käyttörajatilassa käytetään kuormien ja ominaisuuksien ominaisarvoja. Hyväksyttävien siirtymien maksimiarvot määräytyvät ympäristön ja ankkuroitavan rakenteen mukaan.

5.4 Maanpainerakenteet

5.4.1 Murtorajatila

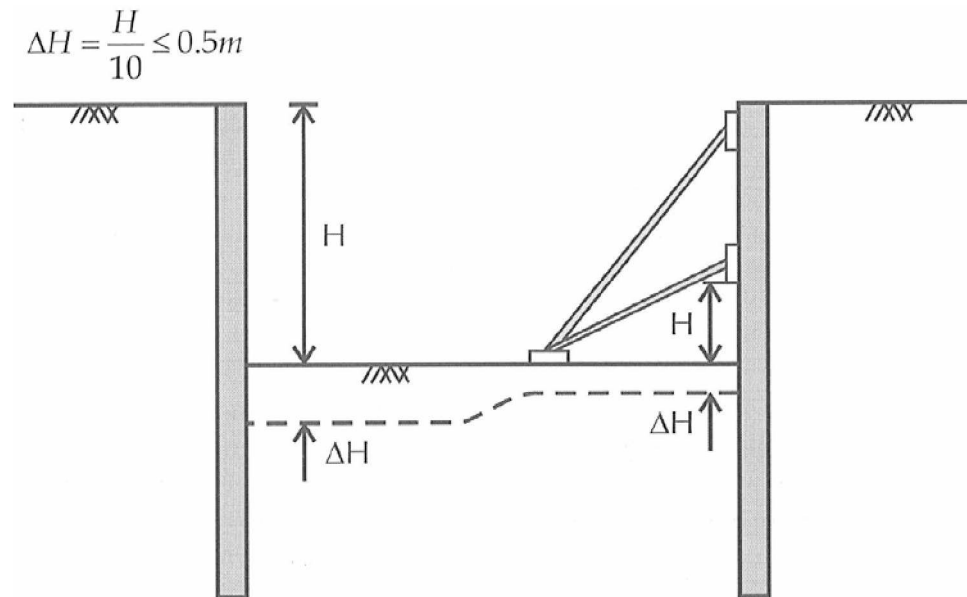
5.4.1.1 Yleistä

Tässä luvussa käsitellään pysyviä ja väliaikaisia rakenteita, jotka tukevat maasta tai täytöstä koostuvaa materiaalia ja vettä. Tällaisia tukirakenteita ovat mm. tukiseinät ja tukimuurit.

Ensimmäisenä tehdään aina laskelma ominaisarvoilla, jolloin saadaan käsitys kokonaisvakavuuden suuruusluokasta.

Mitoituksessa tulee tarkastella kokonaisstabiilitettä, vaaka- ja pystystabiilitettä, maapohjan murtuminen, rakenteellinen kestävyys, veden paine ja virtaus sekä siirtymät. Tukimuurien kohdalla pitää edellisen lisäksi tarkastella maapohjan kantokestävyys, liukuminen ja kaatuminen.

Kaivannon mittoina käytetään mittatietojen nimellisarvoja lukuun ottamatta kaivutasoa. Kuvassa 5.1 on esitetty laskelmissa käytettävän kaivutason määrittäminen.



Kuva 5.1 Mitoituksessa käytettävän kaivutason määrittäminen.
Kuva: Bond, Harris: Decoding Eurocode 7/Taylor & Francis, 2008

Poikkeustapauksissa voidaan käyttää kuvassa 5.1 esitettyä pienempää ΔH arvoa. Tällöin pitää suunnitelmassa määrittää luotettava kaivutason korkeuden valvontaprosessi.

Mikäli maa tukirakenteen takana on huonosti vettä läpäisevää, pitää yleensä olettaa vedenpinta maanpinnan tasoon. Jos seinän taakse rakennetaan luotettava kuivatusjärjestelmä esim. rakentamalla hyvin vettä läpäisevä suoto-oja maanpinnasta kuivatus tasoon yhdistettynä "vuotoreikiin" seinän läpi, voidaan mitoituksessa käyttää maanpinnasta poikkeavaa vedenpinnan tasoa. Myös tapauksissa, joissa pohjavesi on yli 4 m maanpinnan alapuolella, voidaan harkinnan mukaan käyttää maanpinnan tasoa alemmaa vedenpintaa.

Hienorakeisessa maassa pitää pintaosa olettaa halkeilleeksi syvyyteen, jossa täysin mobilisoitunut aktiivipaine on nolla. Lisäksi kuivakuorikerros oletetaan aina halkeilleeksi. Halkeilleessa kerroksessa tukiseinään kohdistuu vähintään vedenpaine.

Roudan muodostuminen seinän takana pitää estää tai rakenteen suunnittelussa pitää huomioida routapaineen muodostuminen.

Tiivistyksen vaikutus otetaan huomioon ohjeen "Sillan geotekniset suunnitteluperusteet" mukaisesti.

5.4.1.2 Lepopaine

Mikäli rakenne ei liiku suhteessa tuettavaan maahan tai kyseessä on pitkäaikainen tilanne koheesiomaassa, lasketaan maanpaine lepopaineena.

Lepopaine lasketaan kaavasta:

$$K_0 = (1 - \sin \varphi') \times \sqrt{OCR} \cdot (1 + \sin \beta) \quad (5.12)$$

Missä φ' on maan tehokas leikkauskestävyysskulma ja β maanpinnan kaltevuus vaakatasosta ylöspäin. Maanpinnan kaltevuuskulma β voi laskelmissa olla maksimissaan tehokkaan leikkauskestävyysskulman φ' suuruinen.

Resultantin voidaan olettaa olevan maanpinnan suuntainen.

5.4.1.3 Aktiivi- ja passiivipaine

Maanpaineen ääriarvot voidaan laskea alla olevista kaavoista.

$$\sigma_a = K_a \left(\int_0^z \gamma dz + q - u \right) - 2c\sqrt{K_a(1+a/c)} + u \quad (5.13)$$

$$\sigma_p = K_p \left(\int_0^z \gamma dz + q - u \right) + 2c\sqrt{K_p(1+a/c)} + u \quad (5.14)$$

Missä σ_a ja σ_p ovat vaakasuuntaiset aktiivi ja passiivi kokonaisjännitykset, a on adheesio, c koheesio ja u vedenpaine. Maanpainekertoimille K_a ja K_p on esitetty arvoja liitteessä 2. Näiden käyttö on suositeltavaa, koska yleisesti käytetty Coulombin maanpaineteoria johtaa etenkin suurilla leikkauskestävyysskulman ja seinäkitkan arvoilla liian suuriin passiivipaineen arvoihin.

5.4.1.4 Pystysuuntainen jännitys

Tavallisesti seinän leikkauskestävyysskulman δ_d arvona käytetään korkeintaan seuraavia arvoja:

$$\text{Teräs ja muottia vasten valettu betoni} \quad \delta_d = 2/3 \varphi_{cv;d} \quad (5.15)$$

$$\text{Maata vasten valettu betoni} \quad \delta_d = \varphi_{cv;d} \quad (5.16)$$

missä $\varphi_{cv;d}$ on tukiseinää vasten olevan maan kriittisen tilan leikkauskestävyysskulman mitoitusarvo.

Koheesiomaassa vaikuttava adheesio on seinän lyönnin jälkeen nolla. Adheesio muodostuu ajan kuluessa. Maksimissaan voidaan käyttää arvoa 1/2 kertaa suljettu leikkajuuus.

Seinäkitkan ja adheesio käytössä pitää huomioida, ettei passiivipuolen seinäkitkan tai adheesio pystykomponentti voi olla suurempi kuin aktiivipuolen seinäkitkan ja ankuroinnin aiheuttaman pystykomponentin summa. Seinän pystysuuntaisten voimien pitää olla tasapainossa.

5.4.1.5 Taipuisan tukiseinän mitoitus STR/GEO DA2, DA3

Taipuisan upotetun tukiseinän mitoitus käsittää riittävän upotussyvyyden tarkistuksen, pystystabiliteetin tarkistuksen, kokonaisstabiliteetin tarkistuksen, kaivannon pohjan stabiliteetin tarkistuksen ja rakenteellisen kestävyys tarkistuksen.

Yhdeltä tasolta tuetun tukiseinän upotussyvyyden riittävyys varmistetaan tarkastamalla, että ylimmän ankkuripisteen suhteen lasketun kaatavan momentin mitoitusarvo on pienempi kuin pystyssä pitävän momentin mitoitusarvo. Aktiivipainetta käsitellään kuormana, taulukko A.3a(FI). Passiivipainetta käsitellään kestävyysnä, taulukko A.13(FI). Vedenpainetta käsitellään yhdestä lähteestä tulevana kuormana (vrt. kappale 4.2).

Pystystabiliteetin tarkistus perustuu pystysuuntaisten voimien ja kestävyyksien tarkasteluun. Mitoitusmenetelmä on DA2. Osavarmuusluvut kohdistetaan voimiin ja kestävyyskiin. Seinäkitkaa, adheesiota ja mahdollisia ulkoisia kuormia käsitellään voimina ja niihin kohdistetaan taulukon A.3a(FI) mukaiset osavarmuusluvut. Mahdollisten paalujen kestävyys lasketaan kappaleen 5.2.mukaan.

Pystystabiliteetin mitoitus perustuu epäyhtälöön:

Pystysuuntaisten kaatavien voimien mitoitusarvo \leq pystysuuntaisten tukevien voimien ja kestävyyskiin mitoitusarvo.

Yleensä alaspäin suuntautuvat voimat ja kestävyyskiin ovat kaatavia ja ylöspäin suuntautuvat voimat ja kestävyyskiin tukevia, mutta myös vastakkaiseen suuntaan varmuuden tulee toteutua.

Kokonaisstabiliteetin tarkastus tehdään yleensä liukupintalaskelmalla. Mitoitusmenetelmä on DA3 (vrt. kappale 5.5).

Kaivannon pohjan stabiliteetilla tarkoitetaan maan murtumisesta aiheutuvaa maan liikkumista tukiseinän alapään ympäri kaivantoon. Se ei tarkoita samaa kuin kohdan 5.6 Hydraulinen murtuminen ja pohjan nousu, vaan nämä pitää tarkastaa erikseen kohdan 5.6 mukaisesti. Mitoitusmenetelmä on DA3, jolloin osavarmuusluvut kohdistetaan kuormiin taulukon A.3b(FI) mukaisesti ja maaparametreihin taulukon A.4(FI) sarjan M2 mukaisesti.

Taipuisan tukiseinän rasiusten mitoitus tehdään yleensä jousimallilla, jossa maata ja ankkureita kuvataan jousilla ja tukiseinää taipuisalla palkilla. Jousimallissa on käytettävä epälineaarisia kimmo-plastisia jousia. Mitoitustapa on DA2*, jolloin pitää tarkastaa taulukon A.3a(FI) mukaisesti kaksi tapausta (6.10a ja 6.10b). Laskenta etenee seuraavasti:

Vaihtoehto 1

1. Maaparametreille ja vedenpaineille käytetään niiden ominaisarvoja ja pysyville kuormille käytetään niiden nimellisarvoja
2. Muuttuville kuormille käytetään arvoa $q_k (\gamma_Q/\gamma_G)$. Missä q_k on muuttuvan kuorman nimellisarvo. γ_Q on muuttuvan kuorman osavarmuusluku ja γ_G on pysyvän kuorman osavarmuusluku, taulukko A.3a(FI).

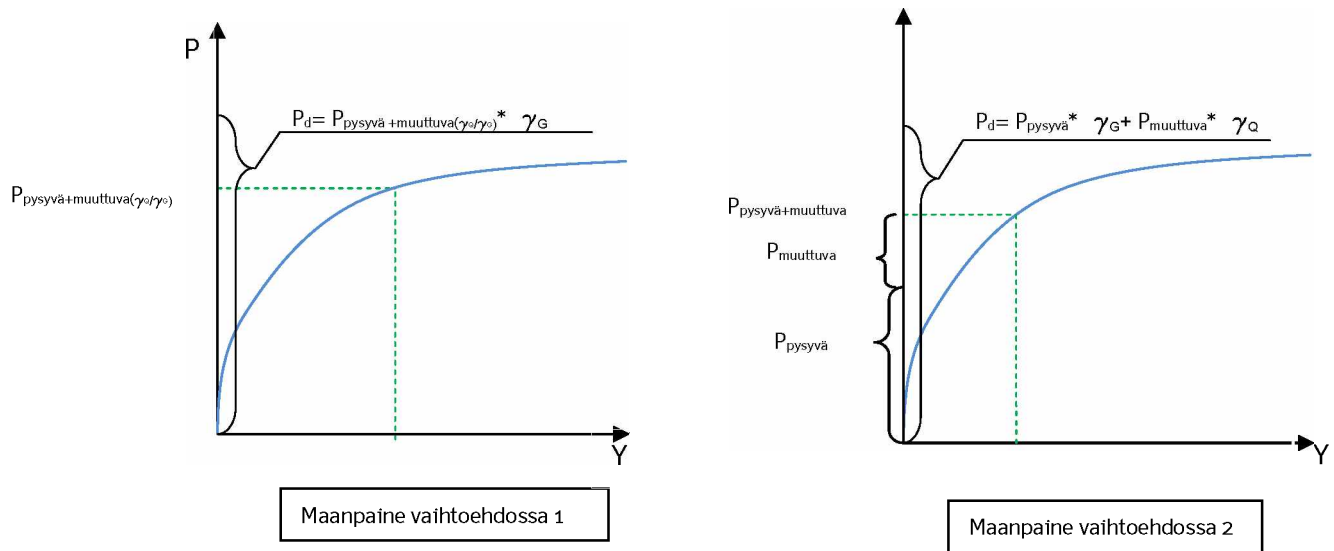
3. Edellä esitetyillä arvoilla lasketaan tukireaktiot, seinän rasitukset ja mobilisoituneet maanpaineet.
4. Maanpaineiden mitoitusarvot saadaan kertomalla kohdassa 3. lasketut arvot pysyvän kuorman osavarmuusluvulla γ_G .
5. Tukireaktioiden ja seinän rasituksien mitoitusarvot saadaan joko laskemalla ne kohdan 4 mukaisilla maanpaineiden mitoitusarvoilla tai kertomalla kohdassa 3 lasketut tukireaktiot ja seinän rasituksien arvot pysyvän kuorman osavarmuusluvulla γ_G . Esitetyt vaihtoehdot johtavat samaan tulokseen, mikäli seinän jännitykset pysyvät lineaarisesti kimmoisella alueella. Mikäli sallitaan seinän plastisoituminen, tehdään laskelmat ensin esitetyn vaihtoehdon mukaan.

Laskenta voidaan suorittaa myös seuraavasti:

Vaihtoehto 2

1. Maaparametreille ja vedenpaineille käytetään niiden ominaisarvoja ja pysyville ja muuttuville kuormille käytetään niiden nimellisarvoja.
2. Edellä esitetyillä arvoilla lasketaan tukireaktiot, seinän rasitukset ja mobilisoituneet maanpaineet ilman muuttuvia kuormia. Näin saadaan pysyvien kuormien vaikutusten ominaisarvot.
3. Toisessa vaiheessa lasketaan kaikilla kuormilla, tukireaktiot, seinän rasitukset ja mobilisoituneet maanpaineet. Näin saadaan kaikkien kuormien vaikutusten ominaisarvot.
4. Lasketaan muuttuvien kuormien aiheuttamat tukireaktioiden, seinän rasituksien ja mobilisoituneiden maanpaineiden ominaisarvot kohtien 2 ja 3 erotuksena.
5. Maanpaineiden mitoitusarvot saadaan kertomalla kohdassa 2 lasketut arvot pysyvän kuorman osavarmuusluvulla γ_G ja lisäämällä niihin kohdassa 4 lasketut arvot kerrottuna muuttuvan kuorman osavarmuusluvulla γ_Q .
6. Tukireaktioiden ja seinän rasituksien mitoitusarvot saadaan joko laskemalla ne kohdan 5 mukaisilla maanpaineiden mitoitusarvoilla tai kertomalla kohdassa 2 lasketut tukireaktiot ja seinän rasituksien arvot pysyvän kuorman osavarmuusluvulla γ_G (taulukko A.3a(FI)) ja kohdassa 4 lasketut tukireaktiot ja seinän rasitukset arvot muuttuvan kuorman osavarmuusluvulla γ_Q (taulukko A.3a(FI)). Esitetyt vaihtoehdot johtavat samaan tulokseen, mikäli seinän jännitykset pysyvät lineaarisesti kimmoisella alueella. Mikäli sallitaan seinän plastisoituminen, tehdään laskelmat ensin esitetyn vaihtoehdon mukaan.

Edellä esitetyillä laskentavaihtoehdoilla ei päädytä samaan tulokseen. Tämä johtuu siitä, että vaihtoehdossa 1. muuttuvaan kuormaan kohdistetaan heti laskennan alussa osa varmuudesta ($= \gamma_Q/\gamma_G$). Tällöin laskennan epälineaarisuudesta johtuen päädytään vaihtoehdossa 1. suurempiin mitoitusarvoihin kuin vaihtoehdossa 2. Eron suuruus riippuu muuttuvan ja pysyvän kuorman suhteesta. Vaihtoehdon 1. etuna on laskelmien yksinkertaisuus.



Kuva 5.2. Maanpaineen tarkastelu laskentavaihtoehdoissa 1 ja 2

5.4.1.6 Tukimuurin mitoitus STR/GEO DA2*, DA3

Maanpinnan tasona tukimuurin edessä käytetään alimmillaan anturan alapinnan tasoa. Tukimuurin edessä olevaa maata saa laskelmissa käyttää hyväksi vain, jos voidaan olettaa sen säilyvän koko rakenteen suunnitellun käyttöiän.

Tukimuurin mitoitus käsittää kokonaisstabiliteetin, kantokestävyyden, liukumisen ja kaatumisen (kallionvarainen) sekä rakenteellisen kestävyys tarkastuksen.

Kokonaisstabiliteetin tarkastus tehdään yleensä liukupintalaskelmalla. Mitoitusmenetelmä on DA3 (vrt. kappale 5.5.1).

Varmuus sisällytetään maanpaineiden laskentaan samalla periaatteella kuin taipuisalle tukiseinälle vaihtoehdon 1 mukaan. Maanpaineita käsitellään kuormina. Muurin rakenteellinen mitoitus tehdään aina lepopaineelle.

Kantokestävyyden, kaatumisen ja liukumisen tarkastus tehdään samoin kuin anturaperustuksilla. Mitoitusmenetelmä on DA2* (vrt. kappale 5.1). Laskelmissa pitää huomioida kappaleessa 4.2 esitetyt asiat.

5.4.1.7 Siltapilarit ja pylvää

Penkereessä tai pengerluiskassa sijaitsevien pilarien, pylväiden, tukimuurien tms. mitoituksessa on voimassa seuraavaa periaate:

Mikäli penkereen liike on nolla ilman tarkasteltavaa rakennetta tai rakenne liikkuu vapaasti penkereen mukana, on maanpaineiden kuormitusresultantti rakenteen suhteen nolla.

Edellä mainitun ehdon voidaan katsoa toteutuvan, jos luiska toteuttaa kohdan 5.5 'Luiskat ja maanvaraiset penkereet' mukaisen käyttörajatilan ehdot (kappale 5.5.2).

Edellisen lisäksi pitää huomioida rakentamisen vaikutus. Mikäli penger rakennetaan siten, että pilarin eri puolille ei muodostu yli 1,0 m korkeuseroja rakentamisvaiheessa ja tiivistys tehdään samalta tasolta tasaisesti pilarin joka puolella, voidaan olettaa, ettei rakentamisesta aiheudu pilariin maanpaineresultanttia.

Mikäli penger ei ole stabiili ilman tarkasteltavaa rakennetta tai tarkasteltava rakenne ei liiku vapaasti penkereen mukana, vaikuttaa pilariin maksimissaan passiivipaineen P_p suuruinen maanpaine. Pilariin kohdistuva passiivipaine P_p saadaan kaavasta:

$$P_p = 3,0 \dots 4,4 \cdot \gamma \cdot z \cdot D \cdot K_p \quad (\text{kN/m}) \quad (5.17)$$

Kaavassa D on pilarin sivumitta tai halkaisija. Kerrointa 4,4 käytetään mitoittaessa maan kuormittamaa rakennetta ja kerrointa 3,0 käytetään määritettäessä rakenteesta penkereeseen kohdistuvaa tukevaa voimaa.

5.4.2 Käyttörajatila

Käyttörajatilassa käytetään kuormien ja ominaisuuksien ominaisarvoja. Siirtymien maksimiarvot määräytyvät ympäristön ja tuettavan rakenteen mukaan. Ympäristön siirtymien laskenta perustuu rakenteen siirtymiin.

Edellä mainitun siirtymätarkastelun lisäksi pitää pysyvien rakenteiden osalta kohdan 5.5.2 'Käyttörajatilan' ehtojen toteutua. Sama vaatimus on voimassa rakennusaikaisen rakenteiden osalta, mikäli liikkuvan maamassan alueella on siirtymille herkkiä rakenteita.

5.5 Luiskat ja maanvaraiset penkereet

Tässä luvussa käsitellään maapohjan kokonaisstabiliteetin ja siirtymien laskentaa. Tyypillisiä kohteita ovat penkereet, leikkaukset, kaivannot ja tukirakenteet.

Pohjaveden- ja vapaanvedenpinnan taso tulee valita siten, että ne edustavat kyseisessä mitoitusstilanteessa epäedullisimpia mahdollisia tasoja. Kuivatusjärjestelmien rikkoontumisen mahdollisuus ja sen vaikutukset tulee huomioida.

Laskentamallissa tulee huomioida kerrokset, joiden leikkauslujuus on merkittävästi muita kerroksia heikompi. Tällöin saattaa olla tarpeen käyttää vapaamuotoisia liukupintoja.

Laskentamallissa tulee huomioida eri kerrosten lujuus-muodonmuutosominaisuudet siten, että laskennassa käytetään lujuuksia, jotka mobilisoituvat samoilla siirtymillä.

Kun käytetään kevyitä materiaaleja, kuten kevytsoraa, polystyreeniä tai vaahtobetonia pitää noste huomioida pitkäaikaisessa (vettynyt) ja lyhytaikaisessa (ei vettynyt) tilanteessa.

Mikäli ei ole mahdollista laskelmin osoittaa, että murto- tai käyttörajatilojen esiintyminen on riittävän epätodennäköistä, tulee maapohjaa tarkkailla asianmukaisilla laitteilla. Seurannan järjestäminen, tulosten analysointi ja toimenpiteet hälytysrajojen ylittyessä on esitettävä suunnitelmassa.

Eroosiolle alttiit luiskapinnat pitää suojata.

5.5.1 Murtorajatila STR/GEO DA3

Ensimmäisenä tehdään aina laskelma ominaisarvoilla, jolloin saadaan käsitys kokonaisvakavuuden suuruusluokasta. Toinen merkittävä seikka on murtopinnan paikka. Osavarmuuslukujen käyttö saattaa muuttaa merkittävästi murtopinnan paikkaa ominaisarvoilla lasketusta. Tällöin pitää tarkastaa murtoehdon toteutuminen alkuperäisellä ominaisarvojen mukaisella murtopinnalla. Harkinnan mukaan voidaan tämän murtopinnan antamaa tulosta käyttää varmuustason tarkastukseen.

Kokonaisvakavuus lasketaan STR/GEO rajatilassa mitoitusmenetelmällä DA3. Osavarmuusluvut kohdistetaan heti laskennan alussa muuttuviin kuormiin ja maaparametreihin. Osavarmuuslukuina käytetään kuormien osalta taulukon A.3b(FI) arvoja ja maaparametrien osalta taulukon A.4(FI) sarjan M2 arvoja.

Kokonaisvakavuuden mitoitus perustuu epäyhtälöön:

$$E_d \leq R_d \quad (5.18)$$

Missä E_d on kuormien vaikutusten mitoitusarvo ja R_d kestävyysmitoitussarvo. Tavanomaisessa lamellimenetelmällä tapahtuvassa liukupintatarkastelussa E_d on kaatan momentin mitoitusarvo ja R_d on vakauttavan momentin mitoitusarvo. Laskennan tuloksena saadaan R_d/E_d jota kutsutaan osavarmuuksia käytettäessä nimellä ylimitoituserroin ODF (ominaisarvoilla laskettaessa kyseessä on kokonaisvarmuuserroin). Vaatimuksena on $ODF \geq 1,0$.

5.5.2 Käyttörajatila

Liitteen 1. taulukoissa A.3b(FI) ja A.4(FI) esitetyt arvoja käytetään murtorajatilan tarkastuksessa.

Koska maapohjan siirtymien laskenta on melko työlästä ja epätarkkaa, on usein käytetty korkeampaa murtorajatilan varmuustasoa tapauksissa, joissa maapohjan siirtymillä on merkitystä ja tällä korvattu siirtymien laskenta. Tällaisia ovat mm. tilanteet, joissa plastisten siirtymien alueella sijaitsee rakenteita. Taulukossa 5.3 on esitetty em. korvaavassa käyttörajatilatarkastelussa käytettävät osavarmuusluvut.

Taulukko 5.3 Käyttörajatilatarkastelussa käytettävät maapohjan lujuusparametrien osavarmuusluvut stabiliteetin laskentaan

Maaparametrit	Merkintä	Sarja M2*
Leikkauskestävyysskulma ^a	$\gamma_{\varphi'}$	1,65
Tehokas koheeesio	$\gamma_{c'}$	1,65
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1,8
Yksiaksiaalinen puristuskoe	γ_{qu}	1,8
Tilavuuspaino	$\gamma_{\gamma'}$	1

^a tällä luvulla jaetaan $\tan \varphi'$

Kuormien osavarmuuslukuina käytetään arvoa 1,0. Laskentaan sisällytetään pysyvät kuormat sekä muuttuvat kuormat, mikäli niiden vaikutusaika on riittävän pitkä muodonmuutosten syntymisen kannalta. Edellisen perusteella laskentaan sisällytetään esim. tieliikennekuorma sekä junakuorma liikennepaikoilla. Sen sijaan liikennepaikojen ulkopuolella ei laskentaan sisällytetä junakuormaa, koska kuorman vaikutusajan oletetaan olevan niin lyhyt, ettei siirtymiä ehdi tapahtua.

Edellisen lisäksi pitää myös tehdä murtorajatilan mukaiset tarkastelut.

5.6 Hydraulinen murtuminen

5.6.1 Virtauspaineen aiheuttama hydraulinen murtuminen HYD

Tässä kappaleessa käsitellään hydraulisen nousun aiheuttamaa murtumista. Hydraulisen nousun aiheuttama murtuminen tapahtuu, kun ylöspäin suuntautuvat suoto-voimat vaikuttavat vasten maanpainoa, vähentäen tehokkaan pystyjännityksen nollaan. Tällöin pystysuuntainen vedenvirtaus nostaa maapartikkelit irti toisistaan ja maa menettää kokonaan lujuutensa.

Herkimpiä maalajeja hydrauliselle nousulle ovat tasarakeiset karkeat siltit ja hienot hiekat.

Tarkastelussa pitää ottaa huomioon:

- ohuet maakerrokset, joilla on alhainen vedenläpäisevyys
- tilavaikutukset, kuten kapeat tai muuten pohjapinnaltaan rajatut kaivannot
- vedenpitojen ja paineiden ajalliset ja paikalliset vaihtelut
- mahdolliset reunaehtoien muutokset.

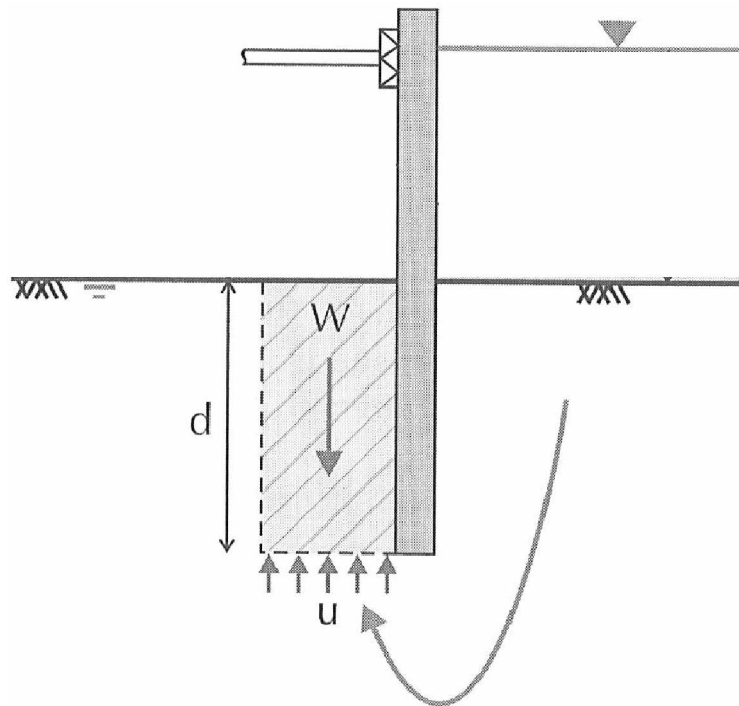
Hydraulisen nousun aiheuttamaa murtumista voidaan estää esimerkiksi seuraavilla keinoilla:

- suotovirtausmatkan pidentäminen
- vedenpaineiden alentaminen nousulle alttiiden maamassojen alapuolella
- vastustavan painon kasvattaminen

Hydraulisen murtumisen vaara tarkastetaan rajatilassa HYD, vrt. 3.4.6.2. Tarkastus perustuu epäyhtälöön:

$$u_{dst;d} \leq \sigma_{stb;d} \quad (5.19)$$

Missä $u_{dst;d}$ on maaprisman (kuvassa 5.3 varjostettu alue) pohjalla vaikuttava huokosvedenpaine ja $\sigma_{stb;d}$ on maaprisman painon aiheuttama kokonaisjännitys samassa tasossa. Ehdon pitää toteutua kaikille mahdollisille maaprismoille. Huokosvedenpainetta ja maan kokonaisjännitystä tarkastellaan kuormina ja osavarmuusluvut kohdistetaan niiden edustaviin arvoihin. Osavarmuuslukuina käytetään taulukon A.17(FI) arvoja. Kestävyyttä ei huomioida. Tarkastus voidaan tehdä myös vertaamalla suotovirtausvoimaa ja prisman nosteellista painoa, vrt. 3.4.6.2.



Kuva 5.3 Esimerkki kaivannon pohjan virtauksen aiheuttaman hydraulisen murtumisen tarkastamisesta.

Kuva: Bond, Harris: Decoding Eurocode 7/Taylor & Francis, 2008

Vakavuus hydraulista nousua vastaan ei välttämättä estä sisäistä eroosiota, vaan se on tarvittaessa tarkastettava erikseen.

5.6.2 Nosteen aiheuttama murtuminen UPL

Tässä kappaleessa käsitellään rakenteisiin tai huonosti vettä läpäisevän maakerroksen alapintaan vaikuttavan vedenpaineen aiheuttamaa murtumista.

Murtuminen tapahtuu, kun huokosvedenpaine rakenteen tai huonosti vettä läpäisevän maakerroksen alapinnassa tulee suuremmaksi, kuin kuormittavien rakenteiden ja maakerrosten paino lisättynä ulkoisten pysyvien voimien summalla.

Tarkastelussa pitää ottaa huomioon:

- vedenpitojen ja paineiden ajalliset ja paikalliset vaihtelut
- mahdolliset reunaehtoien muutokset

Hydraulisen nousun aiheuttamaa murtumista voidaan estää esimerkiksi seuraavilla keinoilla:

- vedenpaineiden alentaminen rakenteen kuivatuksella*
- rakenteen painon kasvattaminen
- rakenteen ankkurointi

*Kaukalo- ja kalvorakenteissa voidaan käyttää ulkopuolista salaojitusta rajaamaan pohjavedenpinnan tasoa. Tällöin rakenteen yläreuna sijoitetaan mitoittavaan vedenpintaan ja salaojat vähän sen alapuolelle. Myös kaukalon alle tulee rakentaa luotettava salaojitus ja suodatinkerros. Järjestelmän tulee toimia myös talvella maan ollessa roudassa.

Nosteen aiheuttaman murtumisen vaara tarkastetaan kokonaistilavuuspainojen perusteella laskettujen voimien ja kestävyysien perusteella. Murtumisen vaara tarkastetaan rajatilassa UPL, vrt. 3.4.6.2. Tarkastus perustuu epäyhtälöön:

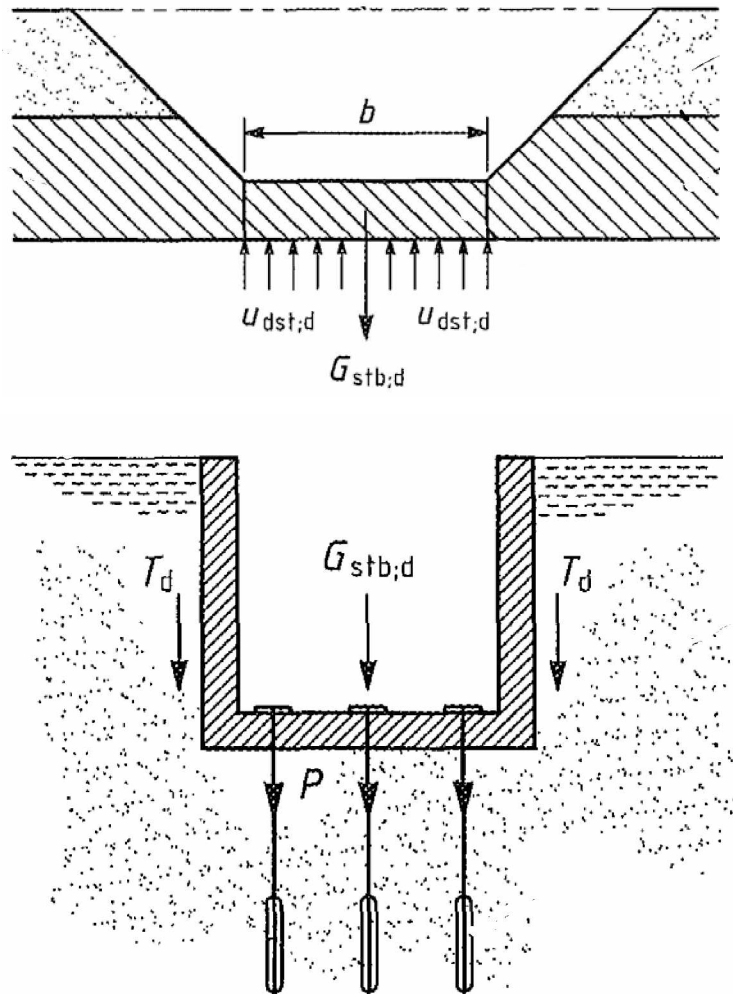
$$G_{dst;d} + Q_{dst;d} \leq G_{stb;d} + R_d \quad (5.20)$$

Yhtälössä tarkastetaan, että pystysuorien kaatavien pysyvien ($G_{dst;d}$) ja muuttuvien kuormien mitoitusarvojen ($Q_{dst;d}$) summa on pienempi tai yhtä suuri kuin vakauttavien pysyvien pystysuorien kuormien mitoitusarvon ($G_{stb;d}$) ja kestävyysmitoitussarvon (R_d) summa. Kaatavia pystysuoria voimia ovat yleensä rakenteen tai huonosti vetäläpäisevän maakerroksen alapintaan vaikuttavan vedenpaineen resultantti. Pysyviä vakauttavia pystysuoria voimia on yleensä rakenteen paino. Kestävyys muodostuu esimerkiksi sivukitkasta, vetopaaluista tai ankkureista.

Osavarmuuslukuina käytetään taulukoiden A.15(FI) ja A.16(FI) arvoja.

Kestävyys R_d osalta osavarmuusluvut kohdistetaan maan ominaisuuksiin ja vedettyjen rakenteiden kestävyysiin. Kestävyttä voidaan myös käsitellä pystysuorana kuormana. Tällöin sen edustava arvo kerrotaan vakauttavan pysyvän kuorman osavarmuusluvulla

Kuvassa 5.4 on esitetty kaksi tyypillistä esimerkkiä rakenteista, joissa nosteen aiheuttama murtuminen saattaa tulla kyseeseen. Ylemmässä kuvassa verrataan pohjavedenpaineen mitoitusarvoa $u_{dst;d}$ ja leikkauspohjan alla olevan vettä huonosti läpäisevän kerroksen painon mitoitusarvoa $G_{stb;d}$. Harkinnan mukaan voidaan kapeissa leikkauksissa huomioida myös ylösnousevan maan lujuus. Alemmassa kuvassa verrataan kaukalon painon $G_{stb;d}$, leikkauskestävyyden mitoitusarvon T_d ja ankkurien kestävyysmitoitussarvon P_d summaa kaukalon pohjaan kohdistuvaan pohjavedenpaineen mitoitusarvoon $u_{dst;d}$.



Kuva 5.4 Ylemmässä kuvassa on esitetty nosteen aiheuttaman murtumisen vaaran toteaminen leikkauksessa ja alemmassa kuvassa ankkuroidussa kaukalossa.

5.7 Syvästabilointi

5.7.1 Pohjavahvistuksena toimivat pilarit

Pilarin oletetaan toimivan pohjavahvistuksena yhteistoiminnassa maan kanssa, mikäli seuraavat ehdot toteutuvat:

- pilarin leikkauslujuuden ominaisarvo on korkeintaan 200 kPa
- maan leikkauslujuuden ja pilarin leikkauslujuuden suhde on korkeintaan 15.

Tällöin tarkastetaan kohteen käyttö- ja murtorajatilat kohdan 5.5 mukaan.

5.7.2 Pohjarakenteena toimivat pilarit

Mikäli kappaleen 5.7.1 ehdot eivät toteudu, käsitellään pilaria rakenteena. Tällöin tarkastetaan myös yksittäisen pilarin kestävyys. Tarkastelu tehdään rajatilassa STR/GEO mitoitustavan DA2 mukaan. Kuorman mitoitusarvo määritetään samoin kuin paalujen ja pilarin kestävyden mitoitusarvo lasketaan käyttäen kestävyydelle osavarmuuslukua 1,4.

Liite 1 Osavarmuusluvut

Suomessa käytettävät osavarmuusluvut ja korrelaatiokertoimet murtorajatilassa

Taulukko A.1(FI) - Kuormien osavarmuusluvut (γ_F) (EQU)

Taulukko A.1(FI) on SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukko A2.4(A)(FI) (Sarja A) ja se korvaa SFS-EN 1997-1 taulukon A.1.

yhtälö	Pysyvät kuormat		Esijännitys		Määrittävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
6.10	1,1 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,35 · (tieliikennekuorma) 1,35 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45 · (rautatieliikennekuorma)	1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
	tai					
	1,1 / 0,9	G	1,1 / 0,9	P	1,50 · (muu määräävä muuttuva kuorma)	1,35 · $\psi_{0,i}$ · (tieliikennekuorma) 1,35 · $\psi_{0,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45 · $\psi_{0,i}$ · (rautatieliikennekuorma) + 1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

Taulukossa esitetty esijännitys koskee vain rakenteen sisäisen jännitystilän muuttamista jännittämällä (esim. sillan päällysrakenne), mutta ei rakenteen ulkopuolisia ankkurointeja.

Pysyvän kuorman ja esijännityksen vaihtoehtoisista osavarmuusluvuista suurempaa käytetään epäedullisten ja pienempää edullisten kuormien kanssa. Muuttuvien kuormien osavarmuusluku edullisille kuormille on 0.

Kerroin $\psi_{0,i}$ on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, joka saadaan SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukosta A2.1(FI) ajoneuvoliikenteen väylille, taulukosta A2.2(FI) kevyen liikenteen väylille ja taulukosta A2.3(FI) rautateille.

Osavarmuuslukujen käytön tarkemmat ohjeet ja erikoistapaukset on esitetty SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisessa liitteessä.

Huom. 1a: Mitoituskaavana asia voidaan ilmaista seuraavassa muodossa:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,1 \cdot G_{k,j,\text{sup}} + 0,9 \cdot G_{k,j,\text{inf}} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P_P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma(K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) \quad (6.10)$$

Yhtälössä (6.10) γ_P :llä on joko arvo 1,1 tai 0,9 sen mukaan, kumpi antaa epäedullisemman vaikutuksen. K_{FI} -kerrointa käytetään vain epäedullisten kuormien yhteydessä.

Yhtälössä (6.10) $\gamma_{Q,1}$:llä ja $\gamma_{Q,i}$:llä on arvo 1,35, kun kysymyksessä on ajoneuvo- tai kevyen liikenteen kuorma, arvo 1,45, kun kysymyksessä on rautatieliikenteen kuorma ja arvo 1,50, kun kysymyksessä on joku muu muuttuva kuorma. Muuttuvien kuormien osavarmuusluku edullisille kuormille on 0.

K_{FI} riippuu SFS-EN 1990:n liitteen B taulukon B2 mukaisesta luotettavuusluokasta seuraavasti:

luotettavuusluokassa RC3 $K_{FI} = 1,1$

luotettavuusluokassa RC2 $K_{FI} = 1,0$

luotettavuusluokassa RC1 $K_{FI} = 0,9$

Luotettavuusluokkia selventävät seuraamusluokat CC3...CC1 esitetään SFS-EN 1990:n kansallisen liitteen taulukossa B1(FI): Seuraamusluokkien määrittely.

Selostus: Koska yleensä käytetään arvoa $K_{FI} = 1,0$, on ko. kerroin jätetty taulukosta A.1(FI) pois. Hankekohtaisesti voidaan sopia tästä poikkeavasta K_{FI} :n arvosta.

Tämän kansallisen liitteen merkinnät on esitetty standardin SFS-EN 1997-1:2004 kohdassa 1.6 ja standardin SFS-EN 1990:2002 kohdassa 1.6.

Selostus: Maanpaine lasketaan tässä rajatilassa lepopaineena.

Taulukko A.2(FI) – Maaparametrien osavarmuusluvut (γ_M) (EQU)

Maaparametri	Merkintä	Arvo
Leikkauskestävyysskulma ^a (”Leikkauskestävyysskulma”)	$\gamma_{\phi'}$	1,25
Tehokas koheesio	$\gamma_{c'}$	1,25
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1,4
Yksiaksiaalinen puristuslujuus	γ_{qu}	1,4
Tilavuuspaino	γ_z	1,0

^a Tällä varmuusluvulla jaetaan $\tan \phi'$

Taulukko A.3a(FI) – Kuormien (γ_F) tai kuorman vaikutusten (γ_E) osavarmuusluvut (STR/GEO, mitoituslata DA2^(*))

Taulukko A.3a(FI) on SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukko A2.4(B)(FI) (sarja B) ja se korvaa SFS-EN 1997-1 taulukon A.3 sarjan A1.

yhtälö	Pysyvät kuormat		Esi-jännitys		Määrittävä muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
6.10a	1,35 / 0,90	G	1,10 / 0,90	P		
<i>tai</i>						
6.10b	1,15 / 0,90	G	1,10 / 0,90	P	1,35 · (tieliikennekuorma) 1,35 · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45/1,20 · (rautatieliikennekuorma)	1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)
	<i>tai</i>					
	1,15 / 0,90	G	1,10 / 0,90	P	1,50 · (muu määrävä muuttuva kuorma)	1,35 · $\psi_{0,i}$ · (tieliikennekuorma) 1,35 · $\psi_{0,i}$ · (kevyen liikenteen kuorma) 1,45/1,20 · $\psi_{0,i}$ · (rautatieliikennekuorma) + 1,50 · $\psi_{0,i}$ · (muut muuttuvat kuormat)

Taulukossa esitetty esijännitys koskee vain rakenteen sisäisen jännitystilän muuttamista jännittämällä (esim. sillan päällysrakenne), mutta ei rakenteen ulkopuolisia ankkurointeja.

Pysyvän kuorman ja esijännityksen vaihtoehtoisista osavarmuusluvuista suurempaa käytetään epäedullisten ja pienempää edullisten kuormien kanssa. Muuttuvien kuormien osavarmuusluku edullisille kuormille on 0.

Kerroin $\psi_{0,i}$ on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, joka saadaan SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukosta A2.1(FI) ajoneuvoliikenteen väylille, taulukosta A2.2(FI) kevyen liikenteen väylille ja taulukosta A2.3(FI) rautateille.

Osavarmuuslukujen käytön tarkemmat ohjeet ja erikoistapaukset on esitetty SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisessa liitteessä.

Huom. 1b: Mitoituskaavana asia voidaan ilmaista siten, että kuormien yhdistelmänä käytetään epäedullisempaa kahdesta seuraavasta lausekkeesta:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,35 \cdot G_{k,j,sup} + 0,90 \cdot G_{k,j,inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P_P \quad (6.10a)$$

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,15 \cdot G_{k,j,sup} + 0,90 \cdot G_{k,j,inf} + K_{FI} \cdot \gamma_P \cdot P_P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) \quad (6.10b)$$

Yhtälöissä γ_P :llä on joko arvo 1,10 tai 0,90 sen mukaan, kumpi antaa epäedullisemmän vaikutuksen. K_{FI} -kerrointa käytetään vain epäedullisten kuormien yhteydessä.

Yhtälössä 6.10b $\gamma_{Q,1}$ llä ja $\gamma_{Q,i}$ llä on arvo 1,35, kun kysymyksessä on ajoneuvo- tai kevyen liikenteen kuorma, arvo 1,45, kun kysymyksessä on rautatieliikenteen kuorma (kuormalle SW/2 tai sen sisältämille yhdistelmille 1,20) ja arvo 1,50, kun kysymyksessä on joku muu muuttuva kuorma. Muuttuvien kuormien osavarmuysluku edullisille kuormille on 0.

K_{FI} riippuu SFS-EN 1990:n liitteen B taulukon B2 mukaisesta luotettavuusluokasta seuraavasti:

luotettavuusluokassa RC3 $K_{FI} = 1,1$

luotettavuusluokassa RC2 $K_{FI} = 1,0$

luotettavuusluokassa RC1 $K_{FI} = 0,9$

Luotettavuusluokkia selventävät seuraamusluokat CC3...CC1 esitetään SFS-EN 1990:n kansallisen liitteen taulukossa B1(FI): Seuraamusluokkien määrittely.

Selostus: Koska yleensä käytetään arvoa $K_{FI} = 1,0$, on ko. kerroin jätetty taulukosta A.3a(FI) pois. Hankekohtaisesti voidaan sopia tästä poikkeavasta K_{FI} :n arvosta.

Taulukko A.3b(FI) – Kuormien (γ_F) tai kuorman vaikutusten (γ_E) osavarmuusluvut (STR/GEO, mitoitus tapa DA3)

Taulukko A.3b(FI) on SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukko A2.4(C)(FI) (sarja C) ja se korvaa SFS-EN 1997-1 taulukon A.3 sarjan A2.

yhätlö	Pysyvät kuormat		Esi-jännitys		Määäävää muuttuva kuorma	Muut samanaikaiset muuttuvat kuormat
6.10	1,00	G	1,00	P	$1,15 \cdot$ (tieliikennekuorma) $1,15 \cdot$ (kevyen liikenteen kuorma) $1,25 \cdot$ (raideliikennekuorma)	$1,30 \cdot \psi_{0,i} \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)
	tai					
	1,00	G	1,00	P	$1,30 \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)	$1,15 \cdot \psi_{0,i} \cdot$ (tieliikennekuorma) $1,15 \cdot \psi_{0,i} \cdot$ (kevyen liikenteen kuorma) $1,25 \cdot \psi_{0,i} \cdot$ (raideliikennekuorma) $+ 1,30 \cdot \psi_{0,i} \cdot$ (muut muuttuvat kuormat)

Taulukossa esitetty esijännitys koskee vain rakenteen sisäisen jännitystilän muuttamista jännittämällä (esim. sillan päällysrakenne), mutta ei rakenteen ulkopuolisia ankkurointeja.

Muuttuvien kuormien osavarmuysluku edullisille kuormille on 0.

Kerroin $\psi_{0,i}$ on muuttuvan kuorman yhdistelykerroin, joka saadaan SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisen liitteen taulukosta A2.1(FI) ajoneuvoliikenteen väylille, taulukosta A2.2(FI) kevyen liikenteen väylille ja taulukosta A2.3(FI) rautateille.

Osavarmuuslukujen käytön tarkemmat ohjeet ja erikoistapaukset on esitetty SFS-EN 1990:2002/A1 liitteen A2 kansallisessa liitteessä.

Huom. 1c: Mitoituskaavana asia voidaan ilmaista seuraavassa muodossa:

$$E_d = K_{FI} \cdot 1,0 \cdot G_{kj,sup} + 1,0 \cdot G_{kj,inf} + 1,0 \cdot P_P + K_{FI} \cdot \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum (K_{FI} \cdot \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}) \quad (6.10)$$

Yhtälössä $\gamma_{Q,1}$:llä ja $\gamma_{Q,i}$:llä on arvo 1,15, kun kysymyksessä on ajoneuvo- tai kevyen liikenteen kuorma, arvo 1,25, kun kysymyksessä on rautatieliikenteen kuorma ja 1,30, kun kysymyksessä on joku muu muuttuva kuorma. Muuttuvien kuormien osavarmuusluku edullisille kuormille on 0.

K_{FI} riippuu SFS-EN 1990:n liitteen B taulukon B2 mukaisesta luotettavuusluokasta seuraavasti:

luotettavuusluokassa RC3 $K_{FI} = 1,1$

luotettavuusluokassa RC2 $K_{FI} = 1,0$

luotettavuusluokassa RC1 $K_{FI} = 0,9$

Luotettavuusluokkia selventävät seuraamusluokat CC3...CC1 esitetään SFS-EN 1990:n kansallisen liitteen taulukossa B1(FI): Seuraamusluokkien määrittely.

Selostus: Koska yleensä käytetään arvoa $K_{FI} = 1,0$, on ko. kerroin jätetty taulukosta A.3b(FI) pois. Hankekohtaisesti voidaan sopia tästä poikkeavasta K_{FI} :n arvosta. K_{FI} -kerrointa käytetään vain epäedullisesti vaikuttavien kuormien yhteydessä.

Huom. 2: Katso myös standardeista SFS-EN 1992 ... SFS-EN 1999 pakkosiirtymä- tai pakko-muodonmuutostilalle käytettäviä osavarmuusluvun γ arvoja.

Huom. 3: Kaikkien samasta syystä aiheutuvien pysyvien kuormien ominaisarvot kerrotaan osavarmuusluvulla $\gamma_{G,sup}$, jos kuorman kokonaisvaikutus on epäedullinen ja osavarmuusluvulla $\gamma_{G,inf}$, jos kuorman kokonaisvaikutus on edullinen. Esimerkiksi kaikkien rakenteen omasta painosta aiheutuvien kuormien voidaan katsoa aiheutuvan samasta syystä; tämä pitää paikkansa silloinkin, kun kyseessä on erilaisia materiaaleja.

Taulukko A.4(FI) – Maaparametrien osavarmuusluvut (γ_M) (STR/GEO)

Maaparametri	Merkintä	Sarja	
		<u>M1</u>	<u>M2</u>
Leikkauskestävyyskulma ^a	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Tehokas koheesio	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1,0	1,4
Yksiaksaalinen puristuskoe	γ_{qu}	1,0	1,4
Tilavuuspaino	γ_z	1,0	1,0

^a Tällä varmuusluvulla jaetaan $\tan \phi'$

Taulukko A.5(FI) – Antura- ja laattaperustusten kestävyiden osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja <u>R2</u>
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,55
Liukuminen	$\gamma_{R,h}$	1,1

Taulukko A.6(FI) – Syrjäyttävien paalujen kestävyiden osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja <u>R2</u>
Kärki	γ_b	1,20
Vaippa (puristus)	γ_s	1,20
Kokonais-/yhdistetty (puristus)	γ_t	1,20
Vedetty vaippa:		
- lyhytaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,35
- pitkäaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,50

Taulukko A.7(FI) – Kaivettujen paalujen kestävyysden osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Kärki	γ_b	1,20
Vaippa (puristus)	γ_s	1,20
Kokonais-/yhdistetty (puristus)	γ_t	1,20
Vedetty vaippa:		
- lyhytaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,35
- pitkäaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,50

Taulukko A.8(FI) – CFA-paalujen kestävyysden osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Kärki	γ_b	1,20
Vaippa (puristus)	γ_s	1,20
Kokonais-/yhdistetty (puristus)	γ_t	1,20
Vedetty vaippa:		
- lyhytaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,35
- pitkäaikainen kuormitus	$\gamma_{s,t}$	1,50

Taulukko A.9(FI) – Korrelaatiokertoimet ξ ominaisarvon johtamiseksi staattisista koekuormituksista (n – koekuormitettujen paalujen lukumäärä)^{a,b}

ξ kun n =	1	2	3/50 %	4	5/100%
ξ_1	1,40	1,30	1,20	1,10	1,00
ξ_2	1,40	1,20	1,05	1,00	1,00

^a Taulukkoarvot koskevat puristettuja paaluja.

^b Vedettyjä paaluja mitoitettaessa taulukkoarvot (A.9(FI)) kerrotaan mallikertoimella 1,25

Taulukko A.10(FI) – Korrelaatiokertoimet ξ ominaisarvon johtamiseksi pohjatutkimustuloksista (n – koeprofiilien lukumäärä)

ξ kun n =	1	2	3	4	5	7	10
ξ_3	1,85	1,77	1,73	1,69	1,65	1,62	1,60
ξ_4	1,85	1,65	1,60	1,55	1,50	1,45	1,40

Taulukko A.11(FI) – Korrelaatiokertoimet ξ ominaisarvojen johtamiseksi dynaamisista koekuormituksista^{a,b,c,d,e} (n – koestettujen paalujen lukumäärä)

ξ kun n =	2–4 / 2–5%	5–9 / 5–40%	10–14 / 40–65%	15–19 / 65–90%	≥20 / 90–100 %
ξ_5	1,60	1,50	1,45	1,42	1,40
ξ_6	1,50	1,35	1,30	1,25	1,25

- a Taulukon ξ -arvot pätevät dynaamisille koekuormituksille (dynamic impact tests).
- b ξ -arvot voidaan kertoa mallikertoimella 0,9, kun käytetään signaalinsovitusta (signal matching).
- c ξ -arvot kerrotaan mallikertoimella 1,1 silloin, kun käytetään paalutuskaavaa ja lyönnin aikana mitataan näennäiselastinen paalun pään jousto.
- d ξ -arvot kerrotaan mallikertoimella 1,2 silloin, kun käytetään paalutuskaavaa eikä lyönnin aikana mitata paalun pään näennäiselastista joustoa.
- e Mikäli perustuksessa on erilaisia paaluja, niin samanlaisten paalujen ryhmät käsitellään erillisinä, kun paalujen lukumäärä n määritetään.

Selostus: ξ -arvot voidaan kertoa luvulla 0,9 myös ilman signaalinsovitusta silloin, kun paalut tukeutuvat luotettavasti kallioon ja paalun kestävyys riippuu lähinnä sen rakenteellisesta kestävyydestä.

Rakenteilla, jotka ovat riittävän jäykkiä ja lujia siirtämään kuormia ”heikoilta” paaluilta ”vahvoille” paaluille, kertoimet ξ_5 ja ξ_6 voidaan jakaa luvulla 1,1.

Lukumäärällä n tarkoitetaan geoteknisen kestävyuden kannalta samanlaisissa pohjasuhteissa tehtyjen samanlaisten paalujen mittausten lukumäärää tai osuutta paalujen kokonaismäärästä (50 %, 100 %). Kappalemäärän tai prosenttiosuuden mukaan valitaan se, jonka perusteella saadaan pienempi korrelaatiokerroin.

Paalutuskaavan käyttö edellyttää, että kaava on aikaisemmin todettu ko. olosuhteissa luotettavaksi ja että paalutuslaite on kalibroitu ko. työmaaolosuhteissa.

Taulukko A.12(FI) – Esijännitettyjen ankkurointien osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Tilapäinen	$\gamma_{a,t}$	1,25
Pysyvä	$\gamma_{a,p}$	1,5

Taulukko A.13(FI) – Tukirakenteiden kestävyysden osavarmuusluvut (γ_R)

Kestävyys	Merkintä	Sarja R2
Kantokestävyys	$\gamma_{R,v}$	1,55
Liukumiskestävyys	$\gamma_{R,h}$	1,1
Maan kestävyys	$\gamma_{R,e}$	1,5

Taulukko A.14(FI) – Kestävyysden osavarmuusluvut (γ_R) luiskille ja kokonaisvaka-
vuudelle

Kestävyys	Merkintä	Sarja R3
Maan kestävyys	$\gamma_{R,e}$	1,0

Taulukko A.15(FI) – Kuormien osavarmuusluvut (γ_F) (UPL)

Kuorma	Merkintä	Arvo
Pysyvä:		
Epäedullinen ^a	$\gamma_{G,dst}$	1,1 K_{FI}
Edullinen ^b	$\gamma_{G,stb}$	0,9
Muuttuva:		
Epäedullinen ^a	$\gamma_{Q,dst}$	1,5 K_{FI}

^a Kaatava kuorma^b Vakauttava kuorma

Taulukko A.16(FI) – Osavarmuusluvut maaparametreille ja kestävyyksille (UPL)

Maaparametri	Merkintä	Arvo
Leikkauskestävyysskulma ^a ("Leikkauskestävyysskulma")	$\gamma_{\phi'}$	1,25
Tehokas koheesio	$\gamma_{c'}$	1,25
Suljettu leikkauslujuus	γ_{cu}	1,4
Vedetyn paalun kestävyys	$\gamma_{s,t}$	1,5
<u>Ankkurin kestävyys</u>	<u>γ_a</u>	<u>1,5</u>

^a Tällä varmuusluvulla jaetaan $\tan \phi'$

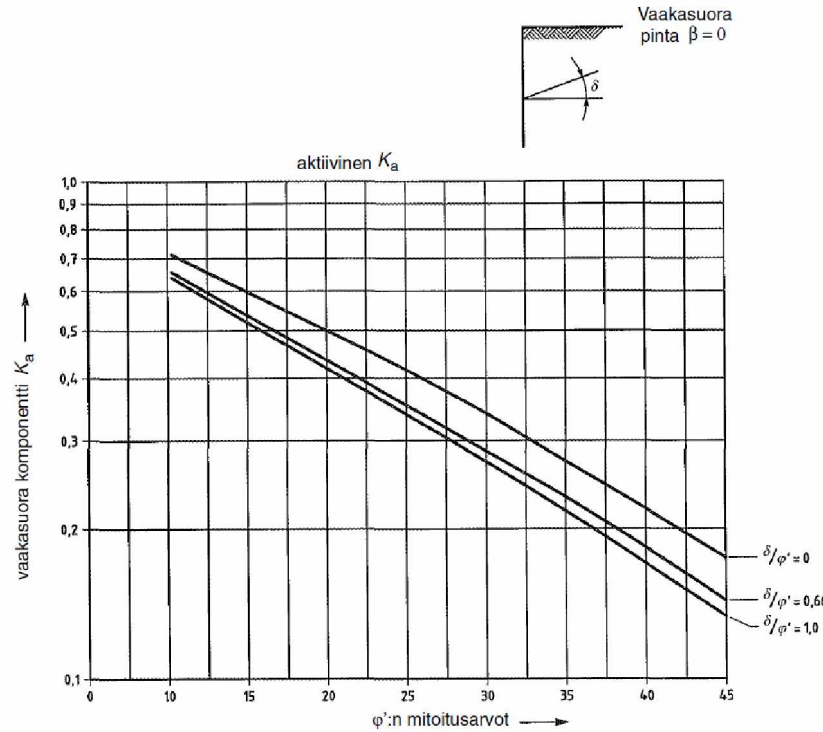
Taulukko A.17(FI) – Kuormien osavarmuusluvut (γ_F) (HYD)

Kuorma	Merkintä	Arvo
Pysyvä:		
Epäedullinen ^a	$\gamma_{G,dst}$	1,35 K_{FI} (edulliset pohjaolosuhteet)
- " -	"	1,8 K_{FI} (epäedulliset pohjaolosuhteet)
Edullinen ^b	$\gamma_{G,stb}$	0,9
Muuttuva:		
<u>Epäedullinen^a</u>	<u>$\gamma_{Q,dst}$</u>	<u>1,5 K_{FI}</u>

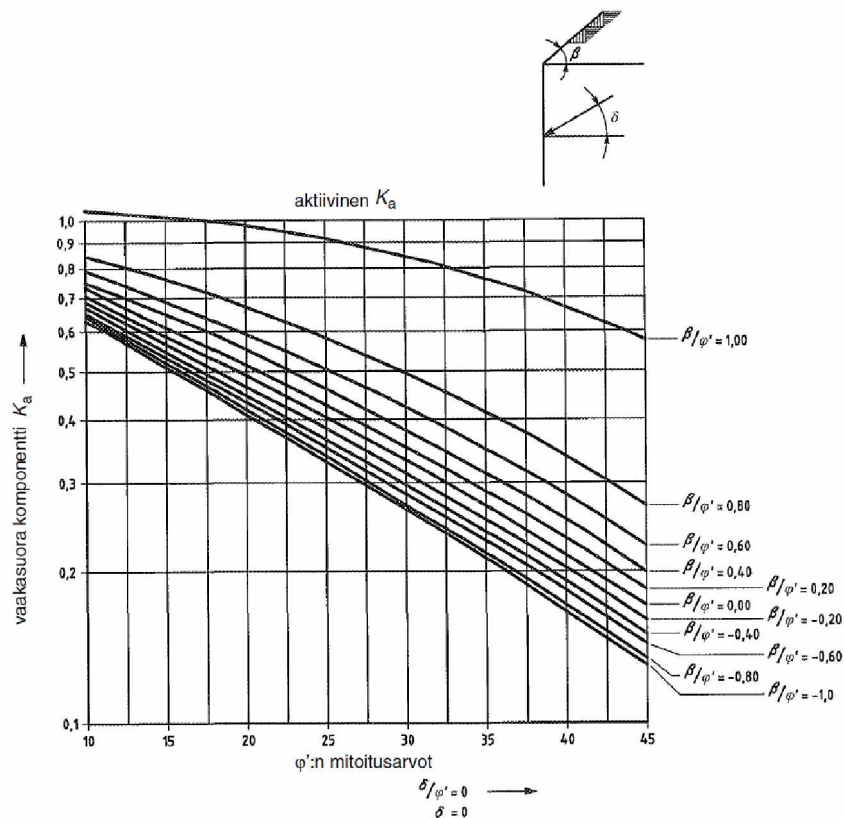
^a Kaatava kuorma

^b Vakauttava kuorma

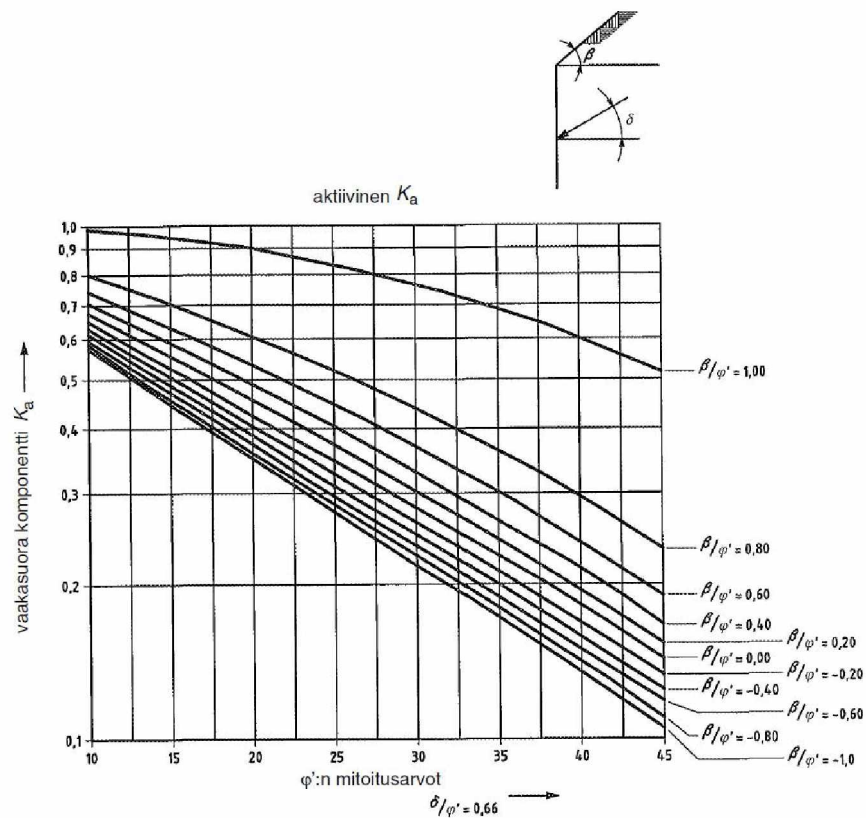
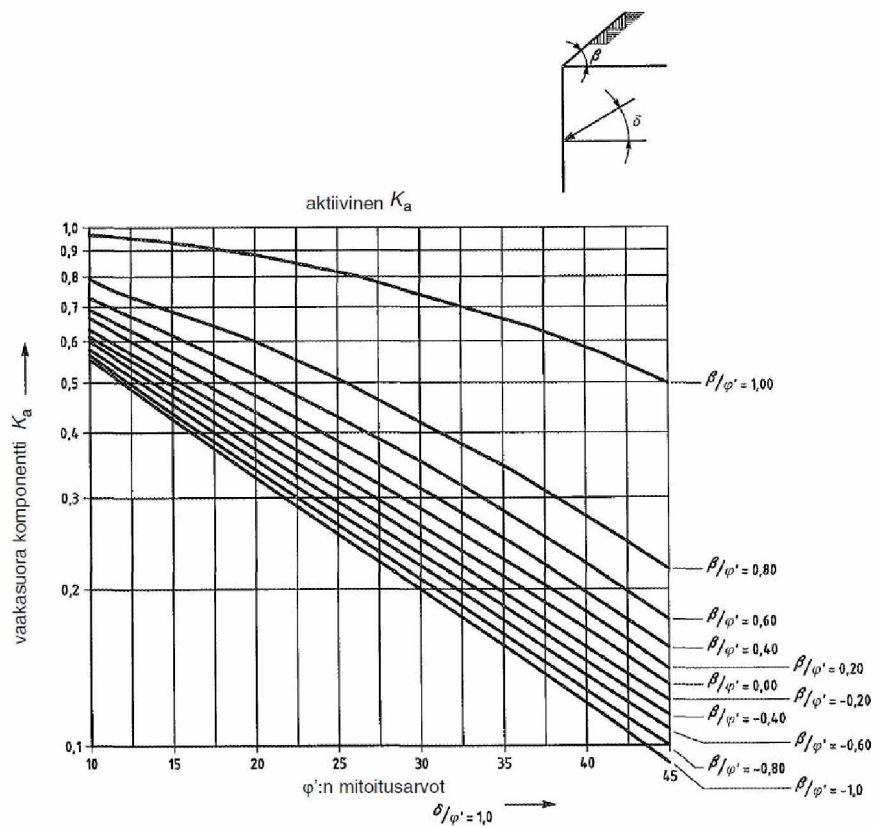
Liite 2 Maanpainekertoimet

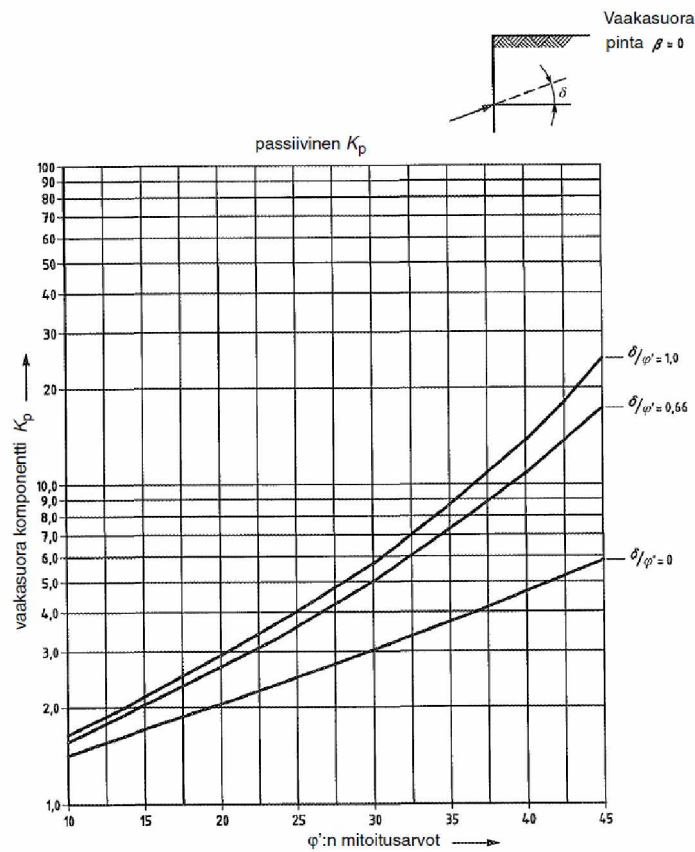


Kuva C.1.1 Kertoimet K_a aktiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta vaakasuora ($\beta = 0$)

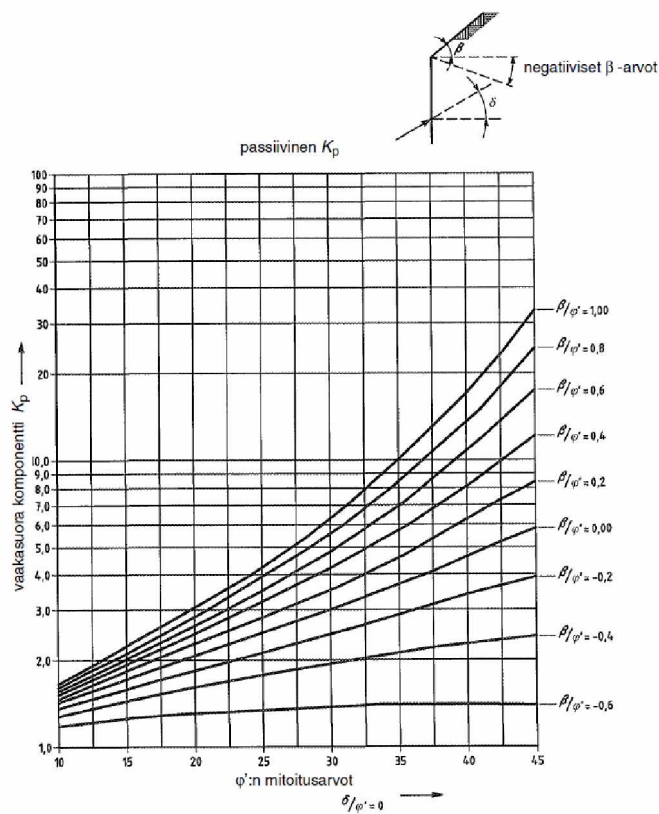


Kuva C.1.2 Kertoimet K_a aktiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalteva ($\delta/\phi' = 0$ ja $\delta = 0$)

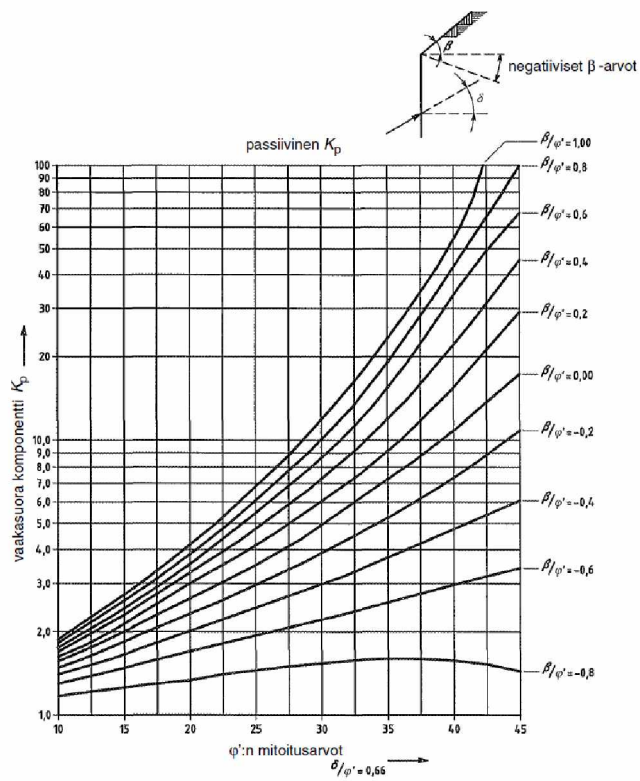
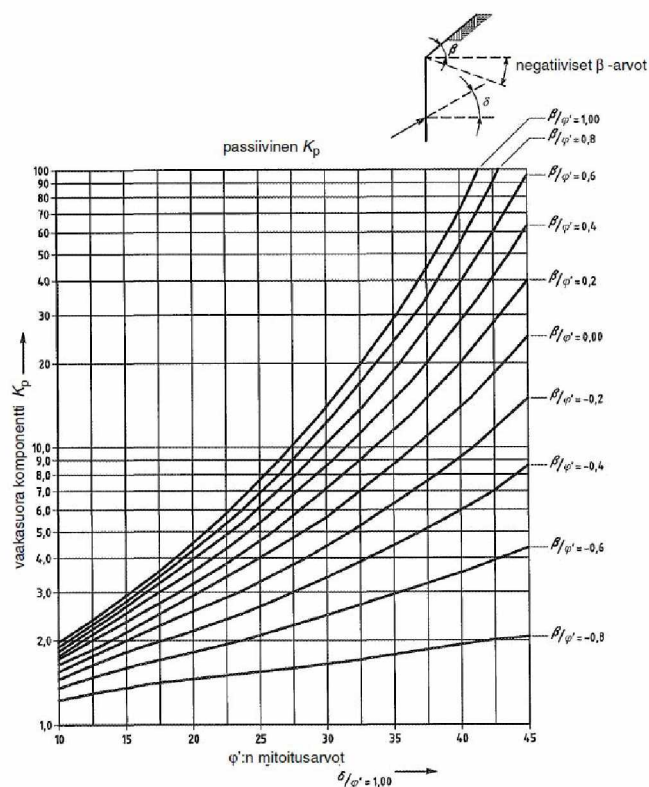

 Kuva C.1.3 Kertoimet K_a aktiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalteva ($\delta/\varphi' = 0,66$)

 Kuva C.1.4 Kertoimet K_a aktiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalteva ($\delta/\varphi' = 1$)



Kuva C.2.1 Kertoimet K_p passiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta vaakasuora ($\beta = 0$)

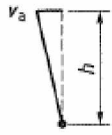
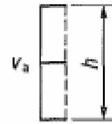
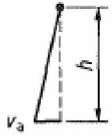
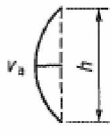


Kuva C.2.2 Kertoimet K_p passiiviselle maanpaineelle: tuettu maanpinta kalteva ($\delta/\phi' = 0$ ja $\delta = 0$)


 Kuva C.2.3 Kertoimet K_p passiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalteva ($\delta/\phi' = 0,66$)

 Kuva C.2.4 Kertoimet K_p passiiviselle maanpaineelle: tuettu pinta kalteva ($\delta/\phi' = 1$)

Liite 3 Maanpaineen mobilisoituminen

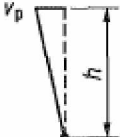
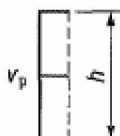

Taulukko C.1 Suhteet v_a/h

Seinän liikkeen tyyppi		v_a/h löyhä maa %	v_a/h tiivis maa %
a)		0,4...0,5	0,1...0,2
b)		0,2	0,05...0,1
c)		0,8...1,0	0,2...0,5
d)		0,4...0,5	0,1...0,2
missä: v_a on aktiivisen maanpaineen mobilisoiva seinän liike h on seinän korkeus			

(2) Se tosiasia, että passiivisen rajatilan maanpaineen kehittymiseen tarvittava siirtymä kitkamaassa vaakasuuntaista maapohjaa tukevan pystysuuntaisen seinän takana on paljon suurempi kuin aktiivisen rajatilan maanpaineelle vaadittu siirtymä, otetaan huomioon. Taulukossa C.2 on esitetty suuruusluokkia suhteelle v_p/h täyden passiivisen maanpaineen mobilisoitumiseksi ja suluissa puolen raja-arvon mobilisoitumiseksi.

(3) Taulukossa C.2 esitetyt suhteellisen liikkeen arvot suurennetaan kertoimella 1,5...2,0, jos tarkastellaan vedenpinnan alapuolella oleva maapohjaa.

Taulukko C.2 Suhteet v_p/h

Seinän liikkeen tyyppi		v_p/h löyhä maa %	v_p/h tiivis maa %
a)		7 (1,5)...25 (4,0)	5 (1,1)...10 (2,0)
b)		5 (0,9)...10 (1,5)	3 (0,5)...6 (1,0)
c)		6 (1,0)...15 (1,5)	5 (0,5)...6 (1,3)
missä: v_p on passiivisen maanpaineen mobilisoiva seinän liike h on seinän korkeus			

Liite 4 Kantokestävyys

(1) Kantokestävyysmitoitussarvo voidaan laskea kaavasta:

$$R/A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' B' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

jolloin yksiköttömät kertoimet ovat:

— kantokestävyydelle:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi' \tan^2 (45^\circ + \varphi'/2)}$$

$$N_c = (N_q - 1) \cot \varphi'$$

$$N_\gamma = 2 (N_q - 1) \tan \varphi', \text{ missä } \delta \geq \varphi'/2 \text{ (karhea pohja)}$$

perustuksen pohjan kaltevuudelle:

$$b_c = b_q - (1 - b_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$b_q = b_\gamma = (1 - \alpha \tan \varphi')^2$$

— perustuksen muodolle:

$$s_q = 1 + (B' / L') \sin \varphi', \text{ suorakaiteelle}$$

$$s_q = 1 + \sin \varphi', \text{ neliölle tai ympyrälle}$$

— $s_\gamma = 1 - 0,3 (B' / L')$, suorakaiteelle

$$s_\gamma = 0,7, \text{ neliölle tai ympyrälle}$$

— $s_c = (s_q N_q - 1) / (N_q - 1)$ suorakaiteelle, neliölle tai ympyrälle

— vaakakuorman H aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle:

$$i_c = i_q - (1 - i_q) / (N_c \tan \varphi')$$

$$i_q = [1 - H / (V + A' c' \cot \varphi')]^m$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A' c' \cot \varphi')]^{m+1}.$$

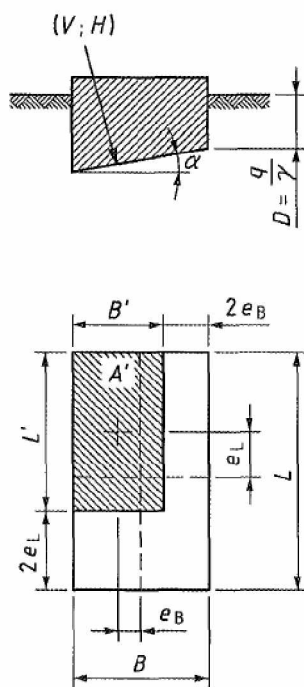
missä:

$$m = m_B = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')] \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } B'\text{:n suunnassa}$$

$$m = m_L = [2 + (L' / B')] / [1 + (L' / B')] \text{ kun } H \text{ vaikuttaa } L'\text{:n suunnassa.}$$

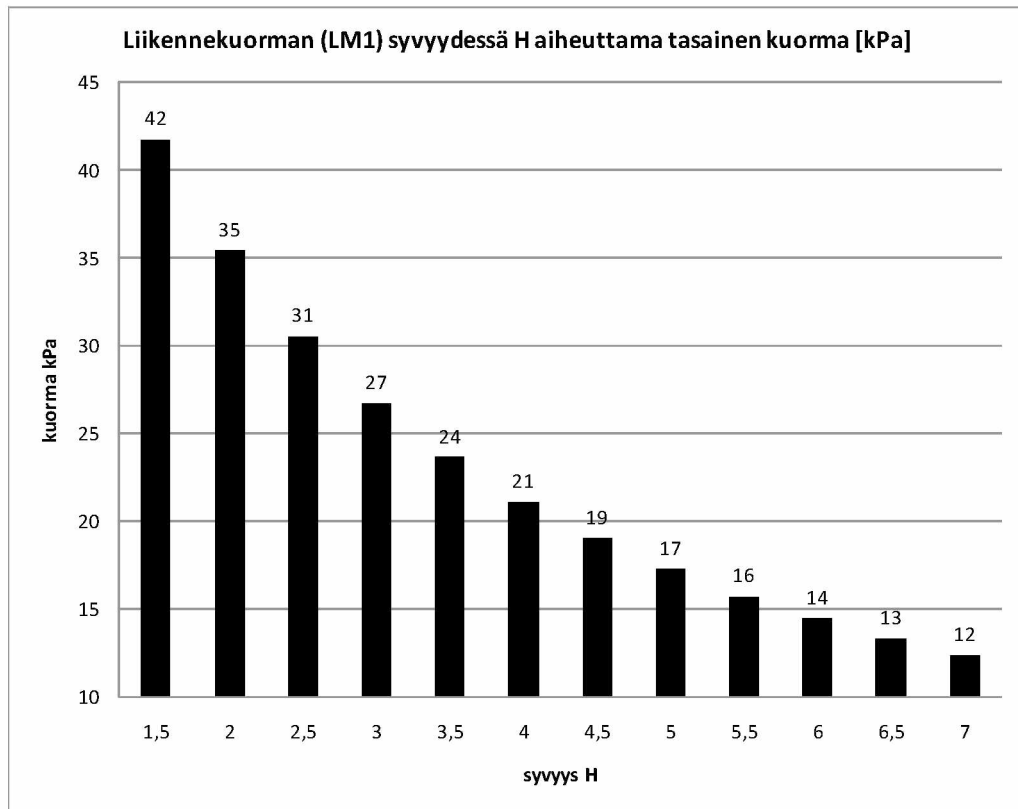
Tapauksissa, joissa kuorman vaakakomponentti vaikuttaa suunnassa, joka muodostaa kulman θ perustuksen tehokkaan pituuden L' :n suunnan kanssa, m voidaan laskea kaavalla:

$$m = m_{\theta} = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta.$$



Kuva D.1 Merkinät

LIITE 5 Paalulaatan kuormat eri pengerkorkeuksilla (vrt.kohta 4.41)



TIESILLÄT - MURTORAJATILÄ - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)										
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)										
YHDISTELYKAAVAT M1T - M1T - 11										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0	gr1a LM1	gr1b LM2	gr2 LM1+vaaka	gr3 kevyt	gr4 ruuhka	gr5 LM3	F _{ak} Tuuli	T _k Lämpötila	BF Laakerikitka	IL Jääkuorma
6.10a	1,1 / 0,9									
-	1,1 / 0,9 ²⁾									
SET A (EQU)	Onapaino									
	Esijännitys									
SET B (STR/EQU)	Onapaino									
	Esijännitys									
SET A (EQU) & SET B (STR/EQU)	gr1a (LM1)	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	UDL	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	Kevyt	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	gr1b (LM2)	-	1,35	-	-	-	-	-	-	-
	gr2 (LM1+vaaka)	-	-	1,35	-	-	-	-	-	-
	gr3 (Kevyt)	-	-	-	1,35	-	-	-	-	-
	gr4 (Ruuhka)	-	-	-	-	1,35	-	-	-	-
	gr5 (LM3)	-	-	-	-	-	1,35	-	-	-
	F _{ak} 1)	-	1,5 x 0,6	-	-	-	-	1,5	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
T _k 2)	-	1,5 x 0,6	-	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	-	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
BF	-	1,5 x 0,6	-	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	-	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6	1,5 x 0,6
IL	-	1,5 x 0,7	-	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	-	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7	1,5 x 0,7
S ₂)	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
TLEP	-	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75	1,5 x 0,75
1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjiän sillan tapaukselle ja tapaukselle jossa se esiintyy yhä alkaa liikenekunnan kanssa										
2) Lämpötilakuorma/tuulipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteella on riittävästi muodonmuutoskykyä (ks. materiaalkohtaiset sovellusohjeet)										
3) Stabiiletti 1.30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom)]										
4) palkalliset vaikutukset 1.20 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom)]										
- passiivipaineen yhdistelykertoihin aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuusluku pysyvän kuorman mukaan										
- vedenpinnan asennan vaikutukset yhdistelään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistel)										
	= Määräpäivä muuttuva kuorma									

[illegible]

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle

jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.

2) tukipainuma ja vedenpinnan asema yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

-passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

3) Onnettomuus/hdistelmässä liikennekuormaavio LM1 otetaan huomioon (tavallisella arvollaan) vain yhdellä kaistalla

= Määräävä muuttuva kuorma

103

Edellä olevien taulukkojen perusteet on tarkemmin esitetty Liikenneviraston Eurokoodien soveltamisohjeessa 'Siltojen kuormat ja suunnitteluperusteet – NCCI 1'.

TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
gr1...gr5	Kuormaryhmä
F_{wk}	Tuulikuorma
T_k	Lämpötilakuorma
BF	Laakerikitka
IL	Jääkuorma
S	Tukipainuma
TLEP	Liikennekuorman maanpaine
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murtorajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a'= käyttörajatilan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b'= käyttörajatilan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c'= käyttörajatilan pitkäaikaisyhdistelmä)

Taulukko 4 Tieliikenteen siltojen kuormaryhmät

Taulukko 4.4a (FI) - Liikennekuormaryhmien määrittäminen (useasta komponentista muodostuvien kuormitusten ominaisarvot)

Radikaalisuus k=1,4 (1,7 - Erikoismerkittävyyden mukaan)	AJORATA PIENTAREINEEN							Kevyen liikenteen väylä	
	Pystykuormat				Vaakakuormat		Vain Pystykuorma [EN 1991-2_5.3.2.1]		
	LM1		LM2	LM3	LM4	Jarru- ja kiihdytyskuormat			Keskipakokuorma ja sivukuorma
	Teli	UDL	Yksittäinen akseli	Erikoiskuorma	Ruuhakuormitus				
	[EN 1991-2_4.3.2]		[EN 1991-2_4.3.3]	[EN 1991-2_4.3.4]	[EN 1991-2_4.3.5]	[EN 1991-2_4.4.1]			[EN 1991-2_4.4.2]
gr1a	Ominaisarvo							Yhdistelyarvo 3 kN/m ²	
	1	1							
gr1b			Ominaisarvo 1						
gr2	Tavallinen arvo (ψ1)					Ominaisarvo 1	Ominaisarvo 1		
	0,75	0,4							
gr3								Ominaisarvo 5 kN/m ²	
gr4					Ominaisarvo 1			Ominaisarvo 5 kN/m ²	
gr5				Ominaisarvo 1					

Liite 7 Rautatiesiltojen kuormien yhdistely
(vrt. kohta 4.8.2)

RAUTATIESILLAT - MURTORAJATILA - Set A: A2.4 (A), Set B: A2.4 (B)										
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄVÄ MUUTTUVA KUORMA (6.10b)										
YHDISTELYKAAVAT MRT_1 - MRT_9										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
		LM71 / SW/0	AE	ML	Fwk	Fwk & ULT ³⁾	Tk	BF	IL	TLEP
SET A (EQU)	6.10a									
SET B (STR/GEO)	1.35 1.1/0.9 ⁴⁾									
SET A (EQU) & SET B (STR/GEO)		1.45	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8
		-	-	-	-	1.45 x 0.8	-	-	-	-
		1.45	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8
		1.45	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8
		1.45	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8	1.45 x 0.8
		1.5 x 0.8	1.5	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8
		1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8
		1.5 x 0.75	1.5 x 0.75	1.5 x 0.75	1.5	1.5	1.5 x 0.75	1.5 x 0.75	1.5 x 0.75	1.5 x 0.75
		1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6	1.5 x 0.6
		1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5 x 0.7	1.5 x 0.7
	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2	1.2
		1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5 x 0.8	1.5

1) Tuulikuormasta huomio: Tuulikuorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapaukselle ja tapaukselle jossa se esiintyy yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.

- Tuulikuormaa ei tarvitse ottaa huomioon, kun pitkittiset liikennekuormat (T&B) ovat yhdistelyssä mukana täydellä arvolla (gr13 ja gr23 SFS-EN 1991-2 taulukko 6.11)

2) Lämpötilakuormatukipainuma voidaan jättää pois murtorajatilayhdistelystä mikäli rakenteeilla on riittävästi muodonmuutoskykyä (ks. materiaalihoitoiset sovelussuhteet)

3) stabiiliiteetti 1.30 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (2) Huom)]

4) paikalliset vaikutukset 1.20 [EN 1992-1-1: 2.4.2.2 (3) Huom)]

5) Kuormitteissa kolmea tai useampaa raitetta, voidaan kuormat kertoa kertoimella 0,75

6) Tarkasteltaessa liikenteen suurimpien vaakakuormien epäedullisia vaikutuksia, täytyy vaikutuksiltaan edullinen pystykuorman osa kertoa kertoimella 0,5

7) Kuorma yhdistellään pystysuuntaisen liikennekuorman kanssa siten, että yhdistelmässä on aina mukana joko pitkittiset (T&B) tai poikkittaiset (CF ja NF) liikennekuormat puolella avoillaan (kuormaryhmät / SFS-EN 1991-2 taulukko 6.11)

8) Yhdistelmä otetaan huomioon vain tarkistettaessa rakenteen stabiiliutta jäykkänä kappaleena

- passiivipaineen yhdistelykerto on aiheuttavan kuorman mukaan ja varmuusluku pysyvän kuorman mukaan

- vedennäpinnan aseman vaikutukset yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saatetaan määrätä yhdistely

= Määrävä muuttuva kuorma

RAUTATIESILLAT - KÄYTTÖRAJATIILA - Ominaisyyshisteimatä (6.14),Tavallinen yhdistelmä (6.15), Pitkääkaisyhdistelmä (6.16)																	
(6.15)																	
KUORMITUSYHDISTELYN MÄÄRÄVÄ MUUTTUVAA KUORMA																	
YHDISTELYKAAVAT KRT_1a - KRT_9a									YHDISTELYKAAVAT KRT_1b - KRT_9b								
1a	2a	3a	4a	6a	7a	8a	9a		1b	2b	3b	4b	6b	7b	8b	9b	1c
LM71 / SW/0	AE	ML	Fwk	Tk	BF	IL	TLEP		LM71 / SW/0	AE	ML	Fwk	Tk	BF	IL	TLEP	
								1									1
								1									1
Omapäino									6)	-	-	-	-	-	-	-	-
Esiänmitys									6)	-	-	-	-	-	-	-	-
LM71 / SW/0 ^{-3/4}	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	6)	-	-	-	-	-	-	-	-
T&B ^{-3/5}	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	6)	-	-	-	-	-	-	-	-
GF ^{-3/5}	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	6)	-	-	-	-	-	-	-	-
NF ^{-3/5}	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	6)	-	-	-	-	-	-	-	-
AE	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-
ML	0.8	0.8	1	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	-	0.5	-	-	-	-	-	-	-
Fwk ⁻¹	0.75	0.75	0.75	1	0.75	0.75	0.75	0.75	-	-	0.5	-	-	-	-	-	-
Tk	0.6	0.6	0.6	0.6	1	0.6	0.6	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.6	0.5	0.5	0.5	0.5
BF	0.6	0.6	0.6	0.6	0.6	1	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.4	0.4	0.4
IL	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	0.7	1	0.7	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.5	0.2	0.2
S ^{-2/3}																	
TLEP	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	1	-	-	-	-	-	-	-	6)	-

1) Tuulikuoorma huomio: Tuulikuoorma lasketaan erikseen tyhjän sillan tapauksella ja tapaukselle, jossa se esiinny yhtä aikaa liikennekuorman kanssa.

2) tukipainuma ja vedepinnan ase ma yhdistellään pysyvän kuorman kanssa siten että saavutetaan määräävä yhdistely

3) Kuormiletaessa kolmea tai useampia raidetta, voidaan kuoruat kertoa kertomalla 0,75

4) Tarkasteltavaa liikenteen suurimpien vaakaakuumien epäodullisia vaikutuksia, täytyy vaikutuksiltaan edullinen pystykuorman osa kertoa kertomella 0,5

5) Kuorma yhdistellään pystysuuntaisen liikennekuorman kanssa sifen, että yhdistelmässä on aina mukana joko T&B tai CF ja NF puolella arvoliaan (kuormaryhmät / SF)

6) Kerroin riippuu kuormitettujen raitteiden määrästä i seuraavasti: 0,8 kun I=1, 0,7 kun I=2 ja 0,6 kun I≥3

Ad= Suistumiskuorma kappaleen B.6.7.1 mukaan. Yhdistelykertoimet koskevat muilla raitteilla olevaa liikennekuormaa.

passiivipaineen yhdistelykerroin aiheuttavan kuorman mukaan

= Määrävää muuttuva kuorma

TAULUKKOJEN MERKINNÄT	
LM71 / SW/o	Ratasiltojen yleiset kuormakaaviot
ULT	Kuormakaavio ”kuormittamaton juna”
T&B	Vedosta ja jarrutuksesta aiheutuvat kuormat
CF	Keskipakoiskuorma
NF	Sivusysäyskuorma
AE	Junien aiheuttamat aerodynaamiset kuormat
ML	Yleisöltä suljettujen kulkukäytävien kuormat
F_{wk}	
Tk	Lämpötilakuorma
BF	Laakerikitka
IL	Jääkuorma
S	Tukipainuma
TLEP	Liikennekuorman maanpaine
1...	Kuormitusyhdistelyn numero (murtorajatila)
1a...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('a' = käyttörajan ominaisyhdistelmä)
1b...	Kuormitusyhdistelmän juokseva numero ('b' = käyttörajan tavallinen yhdistelmä)
1c	Kuormitusyhdistelmän numero ('c' = käyttörajan pitkäaikaisyhdistelmä)

Taulukko 5 Rautatieliikenteen kuormitusryhmät

Sillalla olevien raiteiden määrä			Kuormaryhmät			Pystykuormat			Vaakakuormat			Huomautus
			Viittaus tässä osassa EN 1991-2			6.3.2 / 6.3.3	6.3.3	6.3.4	6.5.3	6.5.1	6.5.2	
1	2	3	Kuormitettujen raiteiden määrä	Kuormaryhmä (7)	Kuormitettu raide	LM 71, SW/o (1), (2) HSLM (6)	SW/2 (1), (3)	Kuormittamaton juna	Veto, jarrutus (1)	Keskipako kuorma (1)	Sivusäyskuorma (1)	
			1	gr 11	T ₁	1			1 (5)	0,5 (5)	0,5 (5)	Suurin T ₁ :n pysty- ja suurin pitkittäinen kuorma
			1	gr 12	T ₁	1			0,5 (5)	1 (5)	1 (5)	Suurin T ₁ :n pysty- ja suurin poikittainen kuorma
			1	gr 13	T ₁	1 (4)			1	0,5 (5)	0,5 (5)	Suurin pitkittäinen kuorma
			1	gr 14	T ₁	1 (4)			0,5 (5)	1	1	Suurin poikittainen kuorma
			1	gr 15	T ₁			1		1 (5)	1 (5)	Poikittaisvakavuus ja "kuormittamaton juna"
			1	gr 16	T ₁		1		1 (5)	0,5 (5)	0,5 (5)	SW/2 ja suurin pitkittäinen kuorma
			1	gr 17	T ₁		1		0,5 (5)	1 (5)	1 (5)	SW/2 ja suurin poikittainen kuorma
			2	gr 21	T ₁ T ₂	1 1			1 (5) 1 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	Suurin T ₁ :n pysty- ja suurin pitkittäinen kuorma
			2	gr 22	T ₁ T ₂	1 1			0,5 (5) 0,5 (5)	1 (5) 1 (5)	1 (5) 1 (5)	Suurin T ₂ :n pysty- ja suurin poikittainen kuorma
			2	gr 23	T ₁ T ₂	1 (4) 1 (4)			1 1	0,5 (5) 0,5 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	Suurin pitkittäinen kuorma
			2	gr 24	T ₁ T ₂	1 (4) 1 (4)			0,5 (5) 0,5 (5)	1 1	1 1	Suurin poikittainen kuorma
			2	gr 26	T ₁ T ₂	 1	1		1 (5) 1 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	0,5 (5) 0,5 (5)	SW/2 ja suurin pitkittäinen kuorma
			2	gr 27	T ₁ T ₂	 1	1		0,5 (5) 0,5 (5)	1 (5) 1 (5)	1 (5) 1 (5)	SW/2 ja suurin poikittainen kuorma
			≥ 3	gr 31	T ₁	0,75			0,75 (5)	0,75 (5)	0,75 (5)	Lisäkuormitustapaus

(1) Kaikki asianomaiset kertoimet (α , Φ , f , ...) tulee ottaa huomioon.

(2) SW/o tulee ottaa huomioon vain jatkuviissa palkkirakenteissa.

(3) SW/2 otetaan huomioon hankekohtaisesti niin määrättäessä.

(4) Kerroin pienennetään arvoon 0,5, jos vaikutus on edullinen.

(5) Edullisissa tapauksissa kuormien kertoimille tulee antaa arvo 0.

(6) HSLM ja "todelliset junat" otetaan huomioon hankekohtaisesti niin määrättäessä.

(7) Ks. myös standardin EN 1990 taulukkoa A2.3.



Ryhmän määräävä osakuorma

Yhtä raidetta tukevaa rakennetta mitoitettaessa tarkasteltavat yhdistelmät

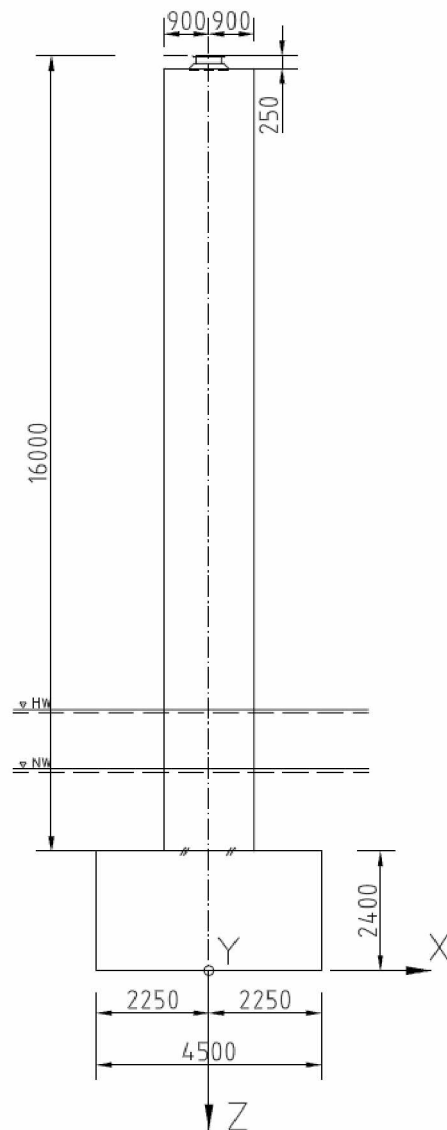
Kahta raidetta tukevaa rakennetta mitoitettaessa tarkasteltavat yhdistelmät

Vähintään kolmea raidetta tukevaa rakennetta mitoitettaessa tarkasteltavat yhdistelmät

Liite 8 Laskuesimerkit

1 Laskuesimerkki 1. Maanvarainen sillan välituki

1.1 Mitat



Kuva 1 Maanvarainen sillan välituki

Peruslaatan oletetut mitat:

pituus $B = 4,5 \text{ m}$

leveys $L = 5 \text{ m}$

1.2 Kuormat ja niiden yhdistelmät

Taulukossa 1 on esitetty kuormat peruslaatan keskellä alapinnan tasossa.

Kuormien suunnat: F_x <> sillan suuntaan, F_y <> sillan poikkisuuntaan, F_z <> alaspäin (tukireaktiot).

Momenttien suunnat: M_x <> x-akselin ympäri, M_y <> y-akselin ympäri.

Taulukko 1 Kuormat, yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut

#	Kuorma	F_x [MN]	F_y [MN]	F_z [MN]	M_y [MNm]	M_x [MNm]	ψ_o	γ	Määrävä	
									ψ_o	γ
	Maatuki + maat NW			3.04			(1)	1,15/0,9		
	HW			2.97			(1)	1,15/0,9	(1)	0,9
	Päällysrakenne			8.73			(1)	1,15/0,9		
	ilman lisäpäällystettä			8.34			(1)	1,15/0,9	(1)	0,9
	Jännevoiman pakkovoima			-0.44			(1)	1,1/0,9	(1)	1,15
1	gr1a max			3.11		2.13	0,4/ 0,75	1,35		
	min			-0.51		-0.04	0,75	1,35	0,6	1,35
3	gr2 max		0.13	1.86		3.69	0	1,35		
	min		0.13	-0.30		2.38	0	1,35		
	F_{wk} (tuulikuorma)									
7	sillalle ilman liikennettä		0.23			4.12	0,6	1,5		
	liikennöidylle sillalle		0.14			2.69	0,6	1,5	0,6	1,5
8	T_k max			0.08			0,6	1,5		
	min			-0.16			0,6	1,5	0,6	1,5
9	BF (laakerikitka)	0.50			8.1		0,6	1,5	1	1,5
	IL (jääkuorma)									
10	sillan suuntaan	0.31			1.75		0.7	1,5	0.7	1,5
	sillan poikkisuuntaan		0.90			5.09	0.7	1,5		
	S (tuen painuma)			0.04			(1)	1,2		

Kuormista muodostetaan käyttörajatilan ominaisyhdistelmän sekä murtorajatilan mukaiset kuormitusyhdistelmät. Ominaisyhdistelmässä kuormat kerrotaan yhdistelykertoimilla (ψ_o) ja murtorajatilassa sekä yhdistelykertoimilla (ψ_o) että osavarmuusluvuilla (γ)

Taulukko 2 Ominaisyhdistelmän mukainen määrävä kuormitusyhdistelmä (KRT 9a)

Ominaisyhdistelmä	F_z	M_y	M_x
	10.47	9.325	1.582

Taulukko 3 Murtorajatilayhdistelmän mukainen määräävä kuormitusyhdistelmä (MRT 9)

Murtorajatilayhdistelmä	F_z	M_y	M_x
	9.12	13.99	2.378

Taulukko 4 Murtorajatilan mukainen suurin vaakakuorma ja vastaava pienin pystykuorma

Murtorajatilayhdistelmä	F_x	F_z
	1.08	9.12

1.3 Maaparametrit

Leikkauskestävyysskulma $\varphi = 42^\circ$

Maan tilavuuspaino perustustason alapuolella $\gamma' = 12 \text{ kN/m}^3$

Yläpuolisen maakerroksen aiheuttama tehokas mitoituspaine perustuksen pohjan tasolla $q' = 30 \text{ kPa}$

1.4 Mitoitustarkastelu

1.4.1 Mitoitusehto

Teholliselle pohjapinnalle laskettu pohjapaine \leq kantokestävyyden mitoitusarvo.

Vaakasuurien kuormien resultantin mitoitusarvo \leq liukumista estävien kuormien mitoitusarvon ja liukumiskestävyyden summa.

1.4.2 Pohjapaineen laskeminen

Pystykuorman epäkeskeisyys lasketaan ominaisyhdistelmän voimasuureista

Taulukko 5

Ominaisyhdistelmä	F_z	M_y	M_x
	10.47	9.325	1.582

$$e_x = \frac{9,325}{10,470} = 0,891 \text{ m} < B/3 = 1,50 \text{ m} \Rightarrow \text{OK.}$$

$$e_y = \frac{1,582}{10,470} = 0,151 \text{ m}$$

Tehollinen pohjapinta-ala

$$B' = 4,5 - 2 \cdot 0,891 = 2,719 \text{ m}$$

$$L' = 5 - 2 \cdot 0,151 = 4,698$$

$$A' = 2,719 \cdot 4,698 = 12,772 \text{ m}$$

Pohjapaine teholliselle pinta-alalle lasketaan murtorajatilan kuormitusyhdistelmän mukaiselle pystykuormalle.

Taulukko 6

Murtorajatilayhdistelmä	F_z	M_y	M_x
	9.12	13.99	2.378

$$\sigma_0 = \frac{9,12}{12,772} = \underline{\underline{0,714 \text{ MPa}}}$$

1.4.3 Kantokestävyyden laskeminen

Kantokestävyyden ominaisarvo voidaan laskea kaavasta:

$$R / A' = c' N_c b_c s_c i_c + q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma$$

Tässä tapauksessa $c' = 0$

Kertoimet:

-kantokestävyydelle:

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi} \tan^2 (45 + \varphi / 2) = 85,4$$

$$N_\gamma = 2 \cdot (N_q - 1) = 151,9$$

-perustuksen muodolle:

$$s_q = 1 + (B' / L') \sin \varphi = 1,387$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3(B' / L') = 0,826$$

-vaakakuorman aiheuttamalle kuorman kaltevuudelle:

$$i_q = [1 - H / (V + A' c' \cot \varphi)]^m = 0,891$$

$$i_\gamma = [1 - H / (V + A' c' \cot \varphi)]^{m+1} = 0,830$$

missä:

$$m = m_B = [2 + (B' / L')] / [1 + (B' / L')] = 1,633$$

Kantokestävyyden ominaisarvo:

$$R_k / A' = q' N_q b_q s_q i_q + 0,5 \gamma' N_\gamma b_\gamma s_\gamma i_\gamma = 30 \cdot 85,4 \cdot 1 \cdot 1,387 \cdot 0,891 + 0,5 \cdot 12 \cdot 1 \cdot 0,826 \cdot 0,830 \\ = 4,86 \text{ MPa.}$$

Kantokestävyyden mitoitusarvo:

$$(R_d / A') = (R_k / A') / \gamma_R \\ = 4,86 / 1,55 \\ = 3,14 \text{ MPa} > 0,714 \text{ MPa OK!}$$

1.4.4 Liukumiskestävyyden laskeminen

Liukumiskestävyys lasketaan kaavasta

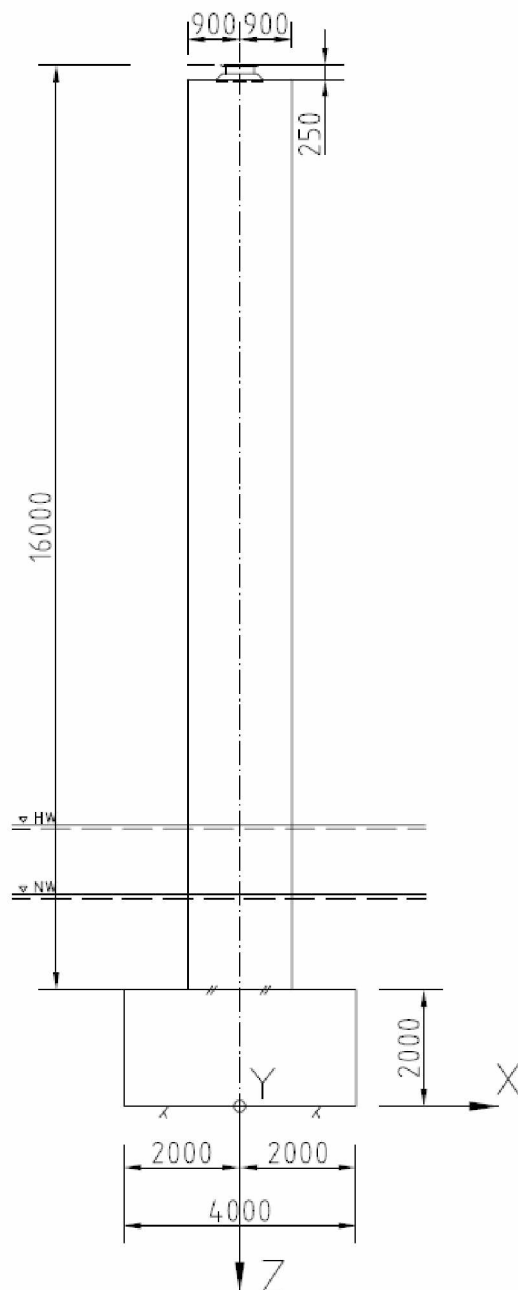
$$V_d \tan(\delta_k) / \gamma_{R,h},$$

missä δ_k on maan leikkauskestävyysskulma. V_d on pystykuormien mitoitusarvo. Liukumiskestävyyden osavarmuusluvulle $\gamma_{R,h}$, käytetään arvoa 1,10.

$$\frac{9,12 \cdot \tan(42^\circ)}{1,10} = 7,47 \text{ MN} > 1,08 \text{ MN OK!}$$

2 Laskuesimerkki 2. Kallionvarainen sillan välituki

2.1 Mitat



Kuva 2 Kallionvarainen sillan välituki

Peruslaatan oletetut mitat:

pituus $B = 4 \text{ m}$

leveys $L = 5 \text{ m}$

2.2 Kuormat ja niiden yhdistelmät

Taulukossa 5 on esitetty kuormat peruslaatan keskellä alapinnan tasossa.

Kuormien suunnat: F_x <> sillan suuntaan, F_y <> sillan poikkisuuntaan, F_z <> alaspäin (tukireaktiot).

Momenttien suunnat: M_x <> x-akselin ympäri, M_y <> y-akselin ympäri.

Taulukko 7 Kuormat, yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut

#	Kuorma	F_x [MN]	F_y [MN]	M_y [MNm]	M_x [MNm]	F_z [MN]	ψ_o	γ_{GEO}	γ_{EQU}	Määrittävät		
										ψ_o	γ_{GEO}	γ_{EQU}
	Maatuki + maat NW		2.99				(1)	1,15/0,9	1,1/0,9			
	HW		2.92				(1)	1,15/0,9	1,1/0,9	(1)	0,9	0,9
	Päällysrakenne		8.73				(1)	1,15/0,9	1,1/0,9			
	ilman lisäpäällystettä		8.34				(1)	1,15/0,9	1,1/0,9	(1)	0,9	0,9
	Jännevoiman pakko- voima		-0.44				(1)	1,1/0,9	1,1/0,9	(1)	1,15	1,1
1	gr1a max		3.11		2.13		0,4/ 0,75	1,35	1,35			
	min		-0.51		-0.05		0,4/ 0,75	1,35	1,35	0,6	1,35	1,35
3	gr2 max		1.86		3.71	0.13	0	1,35	1,35			
	min		-0.31		2.40	0.13	0	1,35	1,35			
7	F_{wk} (tuulikuorma) silta ilman liikennettä				4.17	0.23	0,6	1,5	1,5			
	liikennöidylle sillalle				2.72	0.14	0,6	1,5	1,5	0,6	1,5	1,5
8	T_k max		0.08				0,6	1,5	1,5			
	min		-0.16				0,6	1,5	1,5	0,6	1,5	1,5
9	BF (laakerikitka)	0.5		8.2			0,6	1,5	1,5	1	1,5	1,5
10	IL (jääkuorma)											
	sillan suuntaan	0.31		1.81			0.7	1,5	1,5	0.7	1,5	1,5
	sillan poikkisuuntaan				5.27	0.9	0.7	1,5	1,5			
	S (tuen painuma)		0.04				(1)	1,5	1,5			

Taulukko 8 Ominaisyhdistelmän mukainen määräävä kuormitusyhdistelmä (KRT 9a)

Ominaisyhdistelmä	F_z	M_y	M_x
	10.420	9.467	1.600

Taulukko 9 Murtorajatilayhdistelmän GEO/STR mukainen määräävä kuormitusyhdistelmä (MRT 9)

Murtorajatilayhdistelmä	F_z	M_y	M_x
	9,074	14.201	2.405

Taulukko 10 Murtorajatilayhdistelmän EQU mukainen määräävä kuormitusyhdistelmä (MRT 9)

Murtorajatilayhdistelmä	F_z	M_y	M_x
	9.096	14.2	2.405

Taulukko 11 Murtorajatilan mukainen suurin vaakakuorma ja vastaava pienin pystykuorma

Murtorajatilayhdistelmä	F_x	F_z
	1.08	9.07

2.3 Kallion kestävyys

Kallion ominaiskestävyys on 10 MPa ja kantokestävyyden osavarmuusluku $\gamma_{R,v} = 1,55$

2.4 Mitoitustarkastelu

2.4.1 Mitoitusehto

Jännitys peruslaatan reunalla \leq kallion kestävyden mitoitusarvo.

Tarkastetaan varmuus kaatumista vastaan murtorajatilassa EQU

Vaakasuurien kuormien resultantin mitoitusarvo \leq liukumista estävien kuormien mitoitusarvon ja liukumiskestävyden summa.

2.4.2 Jännityksen laskeminen

Ominaisyhdistelmän mukainen epäkeskeisyys

$$e_x = \frac{M_y}{R} = \frac{9,467}{10,420} = 0,909 \text{ m}$$

Jännitys peruslaatan reunalla lasketaan murtorajatilan pystykuormalle

$$\sigma = \frac{2R}{3\left(\frac{B}{2} - e_x\right)L}$$

$$\sigma = \frac{2 \cdot 9,074}{3\left(\frac{4}{2} - 0,909\right)5} = \underline{\underline{1,109 \text{ MPa}}} < \frac{10}{1,55} = 6,45 \text{ MPa}$$

2.4.3 Varmuus kaatumista vastaan

Varmuus kaatumista vastaan tarkastellaan murtorajatilassa EQU.

Taulukko 12

Murtorajatilayhdistelmä	R	M_y	M_x
	9.096	14.2	2.405

Perustusta kaatava momentti on

$$M_y = \underline{14,2 \text{ MNm}}$$

Perustusta tukeva momentti on:

$$M_{\text{stab}} = R \cdot B / 2 = 9,096 \cdot 4 / 2 = \underline{18,192 \text{ MNm}} > 14,2 \text{ MNm OK}$$

2.4.4 Liukumiskestävyys laskeminen

Liukumiskestävyys lasketaan kaavasta

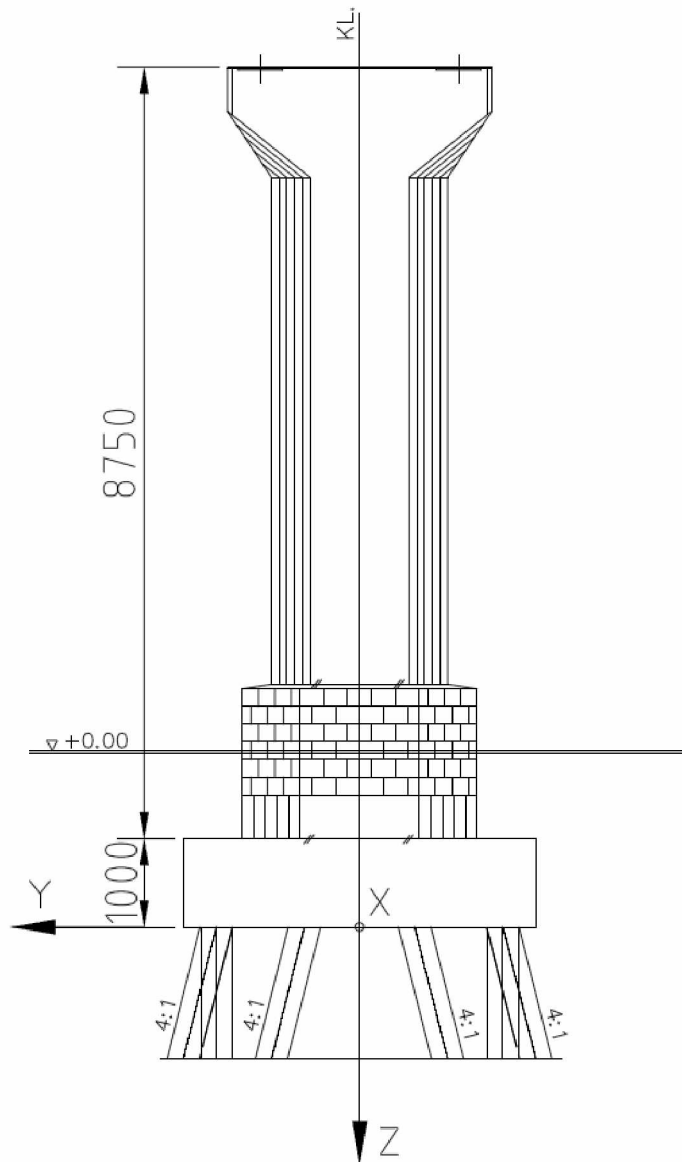
$$V_d \tan(\delta_k) / \gamma_{R,h},$$

missä kertoimelle $\tan(\delta_k)$ voidaan käyttää arvoa 1,00, koska kallionpinta on louhittu. V_d on pystykuormien mitoitusarvo. Liukukestävyys osavarmuusluvulle $\gamma_{R,h}$, käytetään arvoa 1,10.

$$\frac{9,07 \cdot 1,0}{1,10} = 8,25 \text{ MN} > 1,08 \text{ MN OK}$$

3 Laskuesimerkki 3. Paaluille perustettu sillan välituki

3.1 Mitat



Kuva 3 Paaluille perustettu sillan välituki

Paalut:

teräsputkipaaluja $\Phi 711 \times 12.5$

betoni C30/37 (liittorakennepaalu)

3.2 Kuormat ja niiden yhdistelmät

Taulukko 13 Kuormat peruslaatan keskellä alapinnan tasossa

#	Kuorma	F _x [MN]	F _y [MN]	F _z [MN]	M _y [MNm]	M _x [MNm]
	Tuen ja maan paino NW			4.7		
	Päällysrakenne			11.2		
1	gr1a Rmax			4.16		2.94
	Mmax			2.08		4.68
	Rmin			-0.40		
3	gr2 Rmax		0,1	2.50		4.67
	Mmax		0,1	1.25		5.71
	Rmin		0,1	-0.24		
7	F _{wk} (tuulikuorma)					
	sillalle ilman liikennettä		1.3			28.8
	liikennöidylle sillalle		0.9			20.4
8	ΔT			-0.1 +0.1		
9	BF (laakerikitka)	0.7			13.2	
10	IL (jääkuorma)					
	sillan suuntaan	0.5			2.7	
	sillan poikkisuuntaan		1.5			7.5

Taulukko 14 Käytetyt yhdistelykertoimet ja osavarmuusluvut eri kuormitusyhdistelmille

#	Kuorma	KT 1		KT 2		KT 3		KT 4		KT 5		KT 6	
		γ	ψ ₀	γ	ψ ₀	γ	ψ ₀	γ	ψ ₀	γ	ψ ₀	γ	ψ ₀
	Tuen ja maan paino	1.15	1	1.15	1	1.15	1	1.2	1	0.9	1	0.9	1
	Päällysrakenne	1.15	1	1.15	1	1.15	1	1.2	1	0.9	1	0.9	1
1	gr1a Rmax	1.35	1	1.35	1	1.35	0.4/0.75						
	Mmax											1.35	0.4/0.75
	Rmin									1.35	0.4/0.75		
3	gr2 Rmax							1.35	1				
	Mmax												
	Rmin												
7	F _{wk} (tuulikuorma)												
	ilman liikennettä												
	liikennöidylle sillalle	1.5	0.6	1.5	0.6	1.5	0.6			1.5	0	1.5	1
8	T _k -10°C									1.5	0.6	1.5	0.6
	+5°C	1.5	0.6	1.5	0.6	1.5	0.6	1.5	0.6				
9	BF (laakerikitka)	1.5	0.6	1.5	0.6	1.5	1	1.5	0.6	1.5	1	1.5	0
10	IL (jääkuorma)												
	sillan suuntaan	1.5	0.7			1.5	0.7			1.5	0.7		
	poikkisuuntaan			1.5	0.7			1.5	0.7			1.5	0.7

Taulukko 15 Murtorajatilayhdistelmän GEO/STR mukaiset kuormitusyhdistelmät

Yhdistelmät	F _x	F _y	F _z	M _y	M _x	h _{Fx}	h _{Fy}
1 (MRT 1)	0.6	0.8	23.9	2.8	22.3	5	27
2 (MRT 1)	0	2.4	23.9	0	30.2	0	12.6
3 (MRT 9)	1.6	0	21.7	22.5	2.4	14.4	0
4 (MRT 3)	0.5	1.7	21.7	9.9	14.2	19.7	8.13
5 (MRT 9)	1.6	0	15.5	22.5	0	14.4	0
6 (MRT 7)	0	3.0	17.5	0	42.3	0	14.3

3.3 Paalutuksen laskenta

3.3.1 Paalun kantokestävyys

Paalun rakenteellinen kantokestävyys lyöntijännityksen perusteella:

$$R_{k,geo,max} = 0,9 \cdot f_{yk} \cdot A = 0,9 \cdot 355 \cdot 0,0274 = 8,75 \text{ MN}$$

Oletetaan, että tätä voidaan pitää myös geoteknisen kestävyden keskiarvona, kun kaikki paalut PDA-mitataan eli $R_{k,geo,max} = R_{c,m, mean}$:

$$R_{c;k} = \frac{R_{k,geo,max}}{\xi_5} = \frac{8,75}{1,4} = 6,25 \text{ MN}$$

$$R_{c;d} = \frac{R_{c;k}}{\gamma} = \frac{6,25}{1,2} = 5,2 \text{ MN}$$

Paalujen rakenteellinen kantokestävyys puristuslujuuden perusteella (korroosiovara 3 mm)

$$R_{c,d} = A_c \cdot f_{ck} / \gamma_c + A_s \cdot f_{yk} / \gamma_{Mo} = 0,370 \cdot 30 / 1,5 + 0,0208 \cdot 355 / 1,0 = 14,78 \text{ MN} \gg R_{c,d} / \text{lyöntijännitys}$$

Paalujen vetokestävyys:

Vaippakitkan ominaisarvo 20 metrin pituudella $q_{s,k} = 12,5 \text{ kN/m}^2$

$$R_{t,k} = 20 \pi \cdot 0,711 \cdot 12,5 / 1,60 = 351 \text{ kN} \quad (\text{keskiarvo} / n = 10)$$

$$R_{td} = 351 / 1,35 = 260 \text{ kN} \quad (\text{lyhytaikainen veto})$$

3.3.2 Alustava mitoitus

Paalujen lukumäärä:

Suurin vaakakuorma sillan suuntaan $F_x = 1,6 \text{ MN}$

Oletetaan alustavasti, että puolet paalujen kapasiteetista käytetään vaakakuormien ja puolet pystykuormien ottamiseen. Paalujen kaltevuus: 4:1

$$n = \frac{F_x}{\sin \alpha \cdot R_{c,d}} \approx \frac{1,6}{\frac{1}{4} \cdot 2,6} = 2,5 \text{ paalua / sillan suuntaan vinoina} \Rightarrow 2+2 \text{ paalua}$$

(symmetria)

Suurin vaakakuorma poikkisuuntaan: $F_y = 3,0 \text{ MN}$

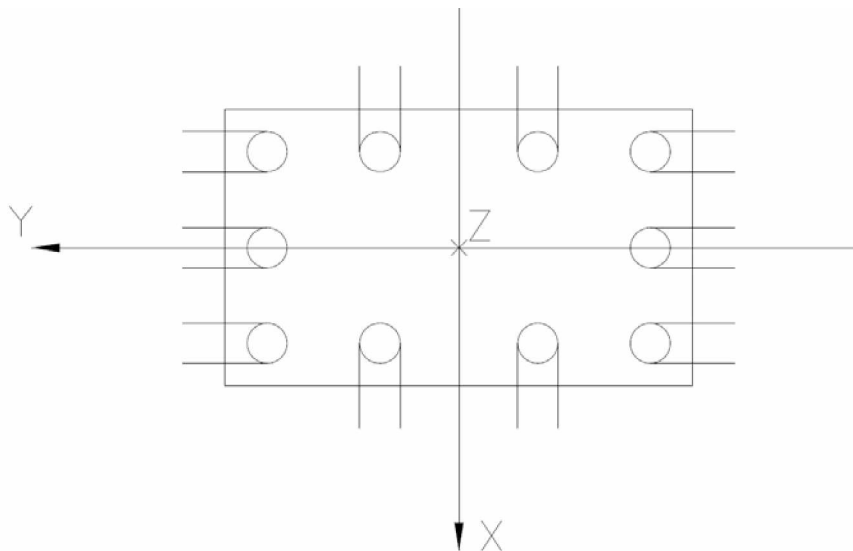
$$n = \frac{F_y}{\sin \alpha \cdot R_{c,d}} \approx \frac{3,0}{\frac{1}{4} \cdot 2,6} = 4,6 \text{ paalua / sillan poikkisuuntaan vinoina} \Rightarrow 3+3 \text{ paalua}$$

(symmetria)

Yhteensä siis $2 \cdot (2 + 3) = 10$ paalua, kaikki 4:1 kaltevia

Suurin pystykuorma $R = 23,9 \text{ MN}$

$$n = \frac{F_z}{\cos \alpha \cdot R_{c,d}} = \frac{23,9}{0,97 \cdot 2,6} = 9,4 \text{ paalua yhteensä} \Rightarrow 10 \text{ paalua} = (2+2) + (3+3)$$



Paalujen etäisyydet:

Kohtisuoraan siltaa vastaan:

Suurimmat vaakakuormat poikittain ovat kuormitustapauksissa 2 ja 6. Kiertokeskiön korkeus kuormitustapauksessa 2 on 12,6 m ja tapauksessa 6 on 14,3 m. Keskiarvo näistä on 13,45 m.

Paalujen kaltevuuden ollessa 4:1 paalutuksen kiertokeskiö saadaan tälle korkeudelle asettamalla paalujen etäisyydeksi

$$e = \frac{13,45}{4} = 3,36 \text{ m}$$

Valitaan etäisyydeksi 3,4 m.

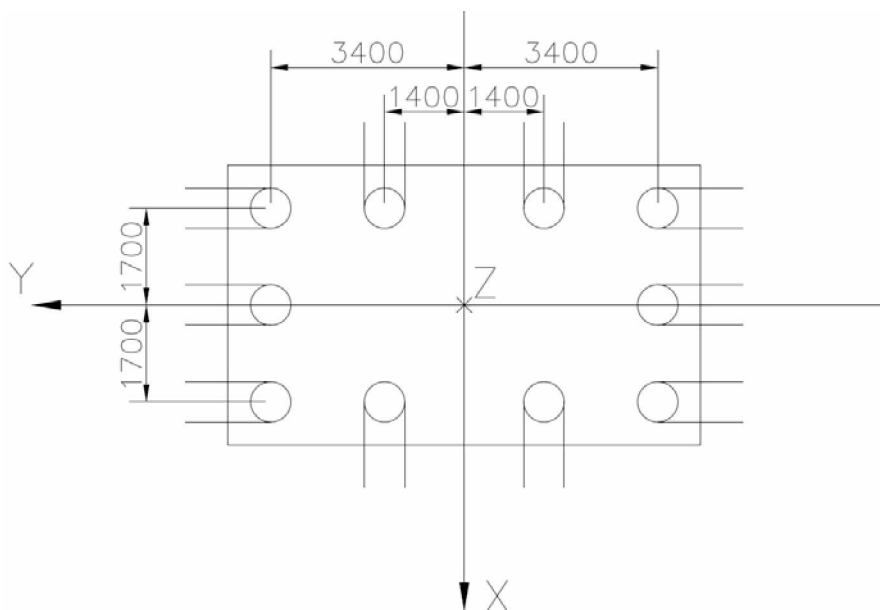
Sillan suuntaan:

Kuormien edellyttämä paalujen kiertokeskiön korkeusasema on niin suuri, että sitä ei voida käyttää paalujen aseman määrittämiseen. Tämän vuoksi valitaan paaluille suurin ajateltavissa oleva etäisyys ja katsotaan lopullisessa laskennassa onko se riittävä. Tässä tapauksessa valitaan etäisyydeksi puolet poikittaisten paalujen etäisyydestä.

$$e = \frac{3,4}{2} = 1,7 \text{ m}$$

Nurjahdusmitoitusta ei tarvitse suorittaa, koska maan suljetun tilan leikkauslujuus > 10 kN/m².

Edellä lasketun perusteella paalutus on:



3.3.3 Paalun kuormien laskenta

Paalukuormien laskenta suoritetaan edellä alustavien laskelmien perusteella saadulle paalutukselle kohdan 2.1 mukaisille kuormitustapauksille normaalin paalustatiikan mukaan:

Paalun kuormat:

$P_{\max} = 5,184 \text{ MN}$ kuormitustapaus 1

$P_{\min} = -0,258 \text{ MN}$ kuormitustapaus 6 **OK!**

4 Laskuesimerkki 4. Ratapenger savikolla

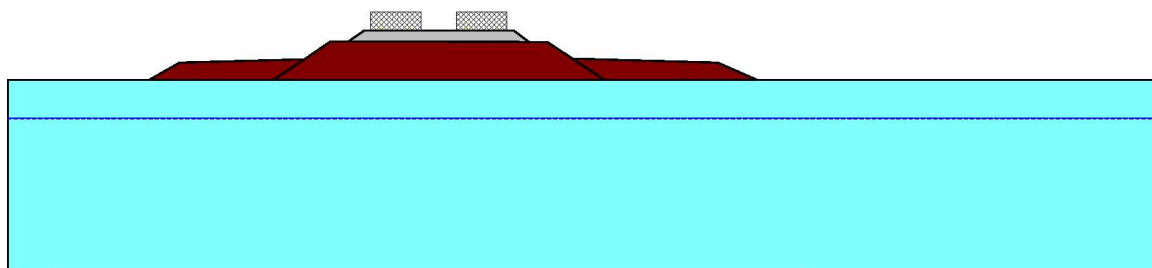
4.1 Tutkittava poikkileikkaus

Kohteena on savi pehmeiköllä sijaitseva kaksiraiteinen 7,8 m leveä ja 2,55 m korkea ratapenger. Penger on varustettu 7,6 m leveillä vastapenkereillä. Maaperän ominaisuudet on taulukoitu alla:

Taulukko 16

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyyskulma [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]
Raidesepeli	16	36	0
Penger	19	36	0
Vastapenger	19	36	0
Savi	15	0	18

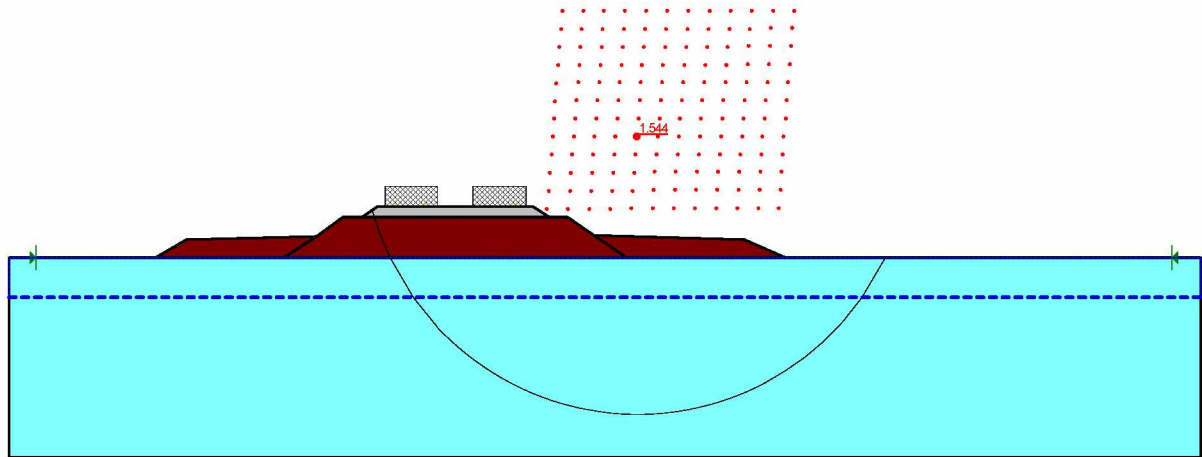
Kuorma on kummallakin raiteella 101 kN/m, mikä on laskentamallissa muutettu 2,6 m pölkyn leveydellä vaikuttavaksi 39 kPa nauhakuormaksi.



Kuva 4 Tutkittava poikkileikkaus

4.2 Kokonaisvarmuus

Ennen varsinaista rajatilan STR/GEO tarkastusta tehdään laskelma ominaisarvoilla kokonaisvarmuuskertoimen selvittämiseksi (ks. 5.5.1). Alla on esitetty Bishopin menetelmällä laskettu kokonaisvarmuus.



Kuva 5 Kokonaisvarmuus Bishopin menetelmällä 1,54

4.3 Rajatilan STR/GEO tarkastus

Penkereen vakavuus tarkastetaan mitoitusmenetelmän DA3 mukaan. Kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien edustaviin arvoihin ja kestävyys puolella varmuus sijoitetaan lujuusparametrien ominaisarvoihin.

Osavarmuusluvut rajatilassa STR/GEO otetaan kuormien osalta taulukosta A.3b(FI). Taulukon mukaisesti pysyvän kuorman osavarmuusluku on 1,0 ja raideliikennekuorman 1,25. Kyseessä on normaali tapaus, jolloin seuraamusluokka on CC2 ja K_{FI} sa arvon 1,0. Kuorman edustava arvo saadaan kertomalla kuorman ominaisarvo yhdistelykertoimella. Kaksiraiteisella radalla kuormat yhdistellään siten, että molemmilla raitteilla oletetaan vaikuttavan samanaikaisesti täyden junakuorman (4.9). Eli yhdistelykerroin saa arvon $\psi = 1,0$.

$$Q_d = \gamma_Q \cdot \psi \cdot Q_k = 1,25 \cdot 1,0 \cdot 39 \text{ kPa} = 48,75 \text{ kPa}$$

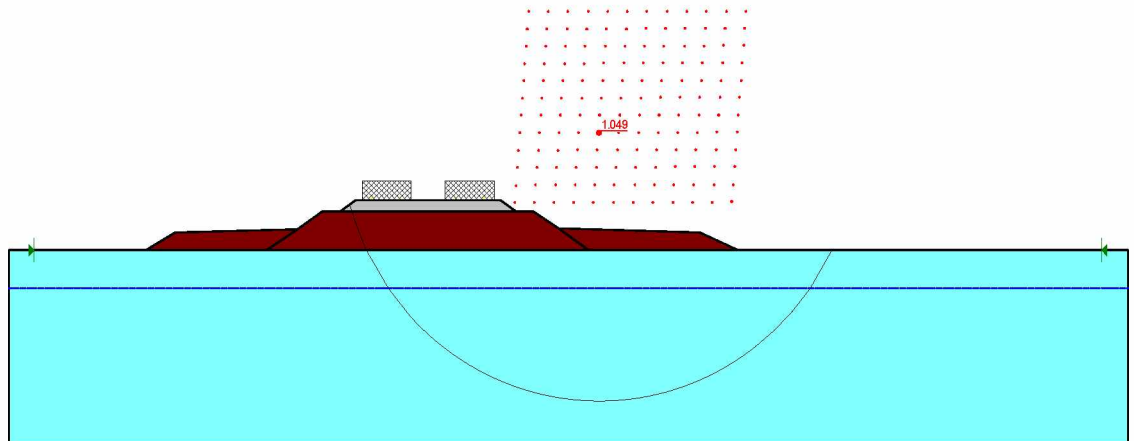
Maaparametrien osalta käytetään taulukon A.4(FI) sarjan M2 arvoja:

Taulukko 17

	Tilavuuspaino [kN/m³]	Leikkauskestävyysskulma [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]
Osavarmuusluku γ_M	1	γ_{φ^*} 1,25	γ_{cu} 1,4
Raidesepeli	16	30,17	0
Penger	19	30,17	0
Vastapenger	19	30,17	0
Savi	15	0	12,86

Leikkauskestävyysskulman osavarmuusluvulla jaetaan leikkauskestävyysskulman tangentti.

Alla on esitetty Bishopin menetelmällä laskettu varmuus ODF.



Kuva 6 ODF on Bishopin menetelmällä 1,05

Lopputuloksena voidaan todeta, että penkereen stabiilitetti täyttää vaatimuksen $ODF \geq 1,0$ (6.5.1). Lisäksi nähdään, ettei liukupinnan paikka muuttunut suhteetta ominaisarvoilla tehtyyn laskentaan (kuva 5).

Pohjavedenpinnan asemalla ei ole kyseisillä maan ominaisuuksilla ja geometrialla vaikutusta varmuuskertoimeen.

5 Laskuesimerkki 5. Ratapenger silttisellä pohjamaalla

5.1 Tutkittava poikkileikkaus

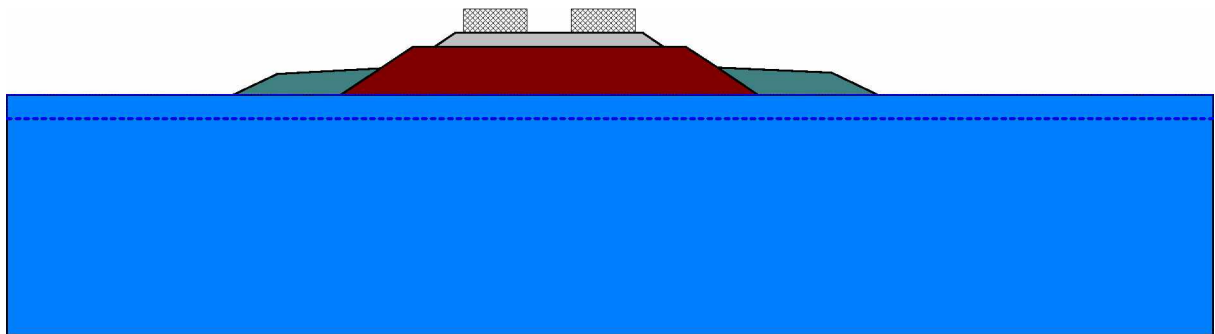
Kohteena on siltti pehmeiköllä sijaitseva kaksiraiteinen 7,8 m leveä ja 2,55 m korkea ratapenger. Penger on varustettu 4,8 m leveillä vastapenkereillä. Maaperän ominaisuudet on taulukoitu alla:

Taulukko 18

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyysskulma [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]
Raidesepeli	16	36	0
Penger	19	36	0
Vastapenger	15	0	10
Siltti	17	22	0

Pohjavesi on 1,0 m syvyydellä maanpinnasta. Arvo perustuu 6 kk havaintojakson ylimpään havaintoon.

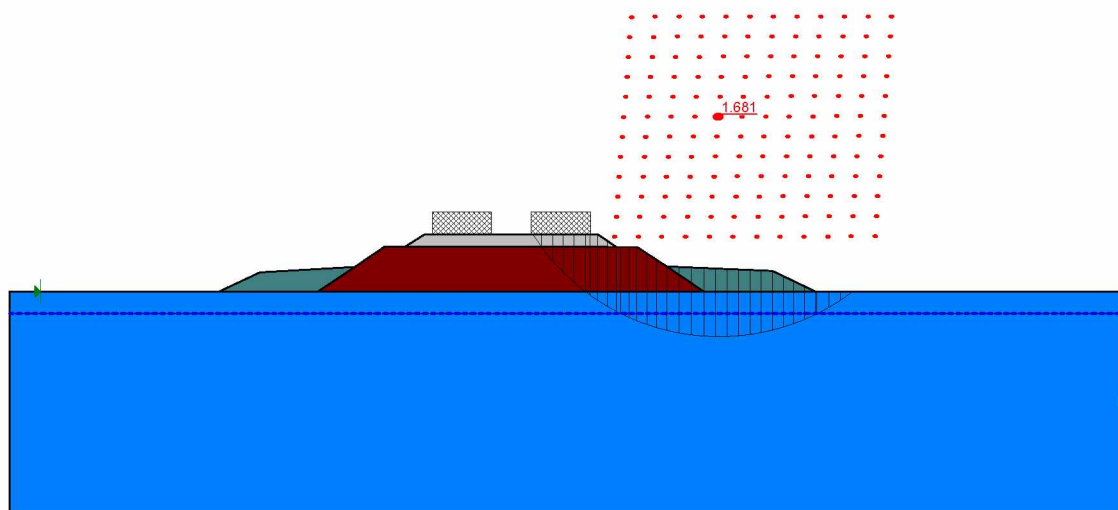
Kuorma on kummallakin raiteella 101 kN/m, mikä on laskentamallissa muutettu 2,6 m pölkyn leveydellä vaikuttavaksi 39 kPa nauhakuormaksi.



Kuva 7 Tutkittava poikkileikkaus

5.2 Kokonaisvarmuus

Ennen varsinaista rajatilan STR/GEO tarkastusta tehdään laskelma ominaisarvoilla kokonaisvarmuuskertoimen selvittämiseksi (ks. 5.5.1). Alla on esitetty Bishopin menetelmällä laskettu kokonaisvarmuus.



Kuva 8 Kokonaisvarmuus Bishopin menetelmällä 1,68

5.3 Rajatilan STR/GEO tarkastus

Penkereen vakavuus tarkastetaan mitoitusmenetelmän DA3 mukaan. Kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien edustaviin arvoihin ja kestävyys puolella varmuus sijoitetaan lujuusparametrien ominaisarvoihin.

Junakuorman mitoitusarvoksi saadaan edellisen esimerkin mukaisesti $Q_d = 48,75$ kPa.

Maaparametrien osalta käytetään taulukon A.4(FI) sarjan M2 arvoja:

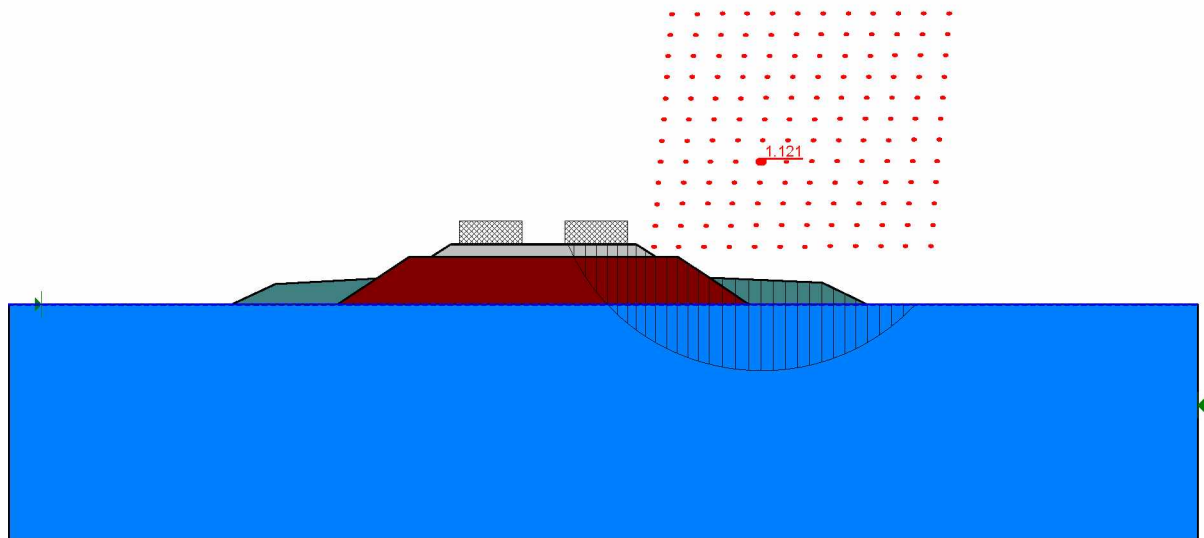
Taulukko 19

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyysskulma [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]
Osavarmuusluku γ_M	1	$\gamma_{\varphi'}$ 1,25	γ_{cu} 1,4
Raidesepeli	16	30,17	0
Penger	19	30,17	0
Vastapenger	15	0	7,14
Siltti	17	17,91	0

Leikkauskestävyysskulman osavarmuusluvulla jaetaan leikkauskestävyysskulman tangentti.

Pohjavedenpinta mallinnetaan maanpintaan, jolloin se edustaa kyseisessä mitoituslanteessa epäedullisinta mahdollista tasoa (5.5).

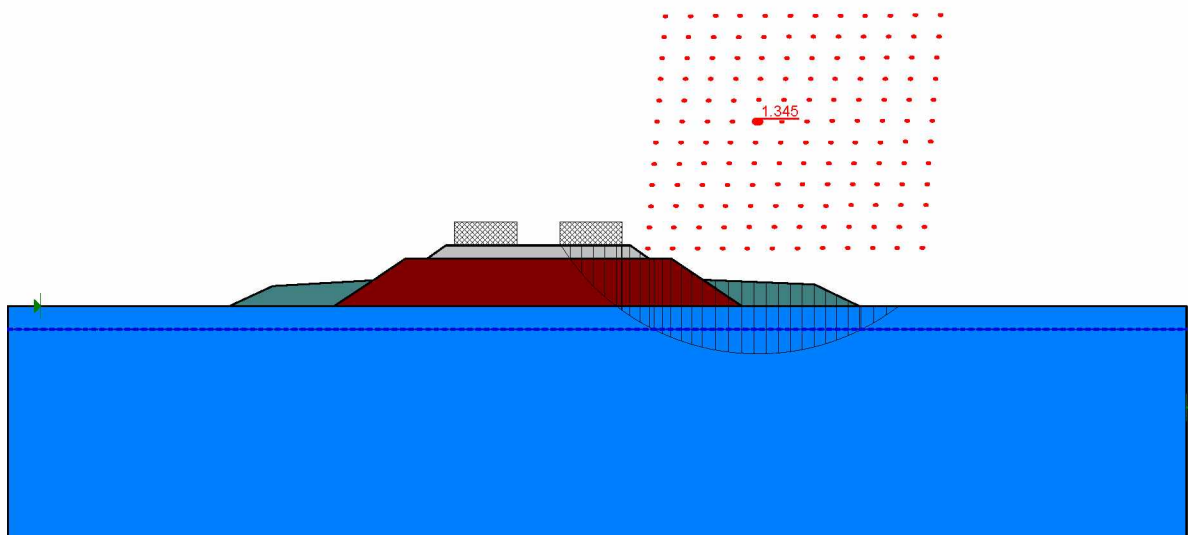
Alla on esitetty Bishopin menetelmällä laskettu ODF.



Kuva 9 ODF Bishopin menetelmällä 1,12 pohjavedenpinnan ollessa maanpinnassa

Lopputuloksena voidaan todeta, että penkereen stabiliteetti täyttää vaatimuksen $ODF \geq 1,0$ (5.5.1). Vaarallisimman liukupinnan paikka on hieman siirtynyt suhteessa ominaisarvoilla tehtyyn laskelmaan. Koska ODF on kuitenkin yli yhden, voidaan tulos hyväksyä.

Alla on laskettu vakavuus mitatulla pohjavedenpinnalla. Siitä voidaan todeta, että esimerkin tapauksessa 1,0 m pohjavedenpinnan erolla on vaikutusta laskettuun varmuuslukuun 0,13. Liukupinnan paikka on sama kuin ominaisarvoilla tehdyssä laskelmassa (kuva 8), jossa on myös käytetty mitattua pohjavedenpintaa..



Kuva 10 ODF Bishopin menetelmällä mitatulla pohjavedenpinnalla 1,35

6 Laskuesimerkki 6. Tiehen rajoittuva työnaikainen tukiseinä savikolla

6.1 Tutkittava poikkileikkaus

Kohteena on savikolla sijaitseva 2 ajoratainen tie. Maaperän ominaisuudet on taulukoitu alla:

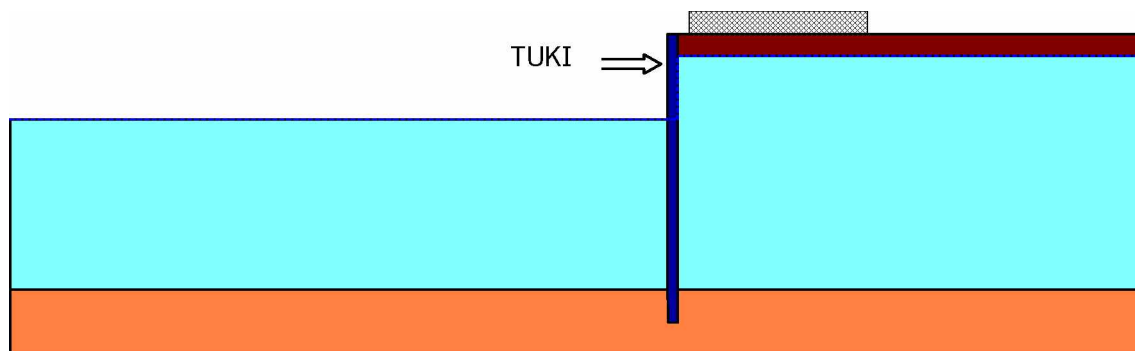
Taulukko 20

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyyskulma [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]
Penger	20	38	0
Savi	15	0	10
Sora	21	39	0

Pohjavesi on rakennekerrosten alapinnassa.

Kuormana on ominaisarvoltaan 20 kPa tasainen. Kuorma n leveys on 8 m ja sen etäisyys tukiseinästä 1m.

Työnaikaisen kaivannon syvyys on 3,4 m. Laskelmissa on huomioitu kaivutason tarkkuuteen sisältyvä riski mallintamalla kaivanto 0,34 m ylisyväksi (5.4.1.1 kuva 5.1). Tukiseinän pituus maanpinnasta mitattuna on 12 m. Penkereen paksuus on 1,0 m ja saven paksuus tukiseinän takana on 9,5 m. Seinän upotussyvyys sorakerrokseen on 1,5 m. Seinä on varustettu penkereen alapinnan tasolla olevilla rei'illä, jotka estävät vedenpinna nousun tämän tason yläpuolelle.

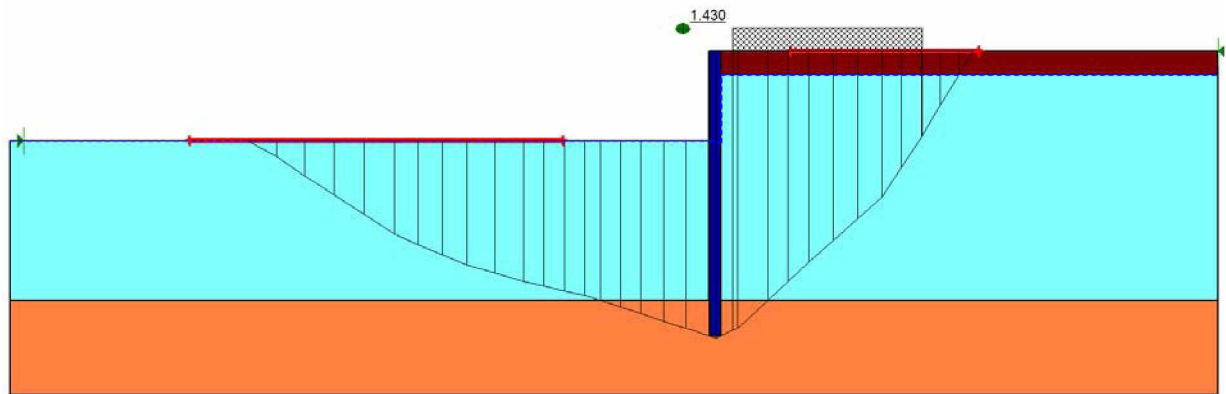


Kuva 11 Tutkittava poikkileikkaus

6.2 Kokonaisvarmuus

Ennen varsinaista rajatilan STR/GEO tarkastusta tehdään laskelma ominaisarvoilla kokonaisvarmuuskertoimen selvittämiseksi (ks. 5.4.1.1).

Alla on esitetty Morgestern - Price menetelmällä laskettu kokonaisstabiliteetti.



Kuva 12

Kokonaisvarmuus Morgenstern - Price menetelmällä 1,43

Alla on esitetty momenttitasapainoon perustuva lyöntisyvyyden laskenta.

Tukiseinä savikolla

Ohjelma laskee maapaineen ja viivakuormituksen aiheuttamat momentit ankkuripisteen suhteen.
 Varmuus on pystyssäpitävien ja kaatavien momenttien suhde.
 Vihreät luvut ovat lähtötietoja

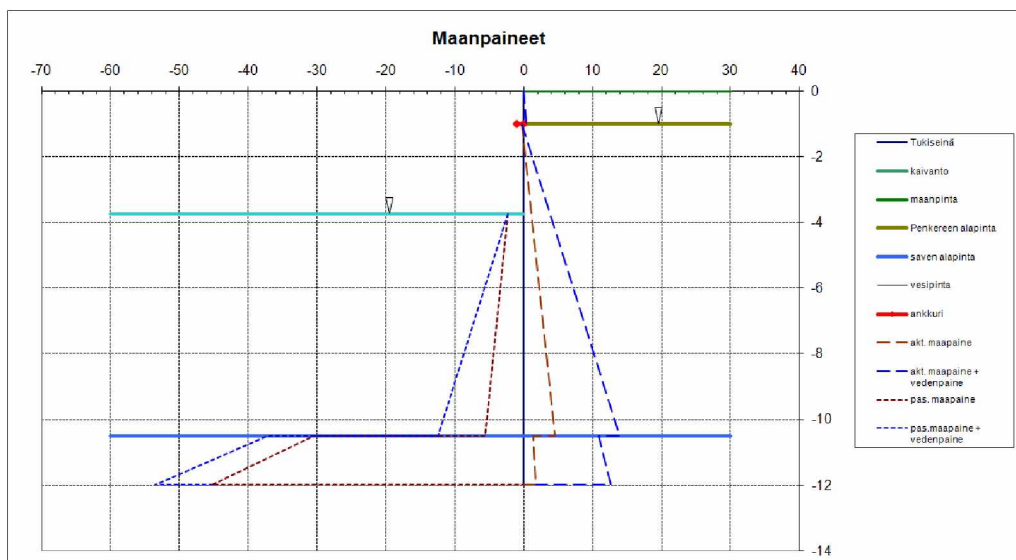
Geometrinen malli		Oletukset: Savi kitkamaakerroksen päällä. Vedenpinta kaivannossa on kaivannon pohjan tasolla. Vedenpinta seinän takana on penkereen alapinnan tasossa. Yksi tuki sijaitsee penkereen alapinnan tasossa.	
Penkereen paksuus [m]	1		
Saven paksuus [m]	9,5		
Kaivannon syvyys [m]	3,74		
Tukiseinän pituus [m]	12		

Maaparametrit	Tiävuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyys-kulma ϕ_{act}	Suljettu leikkauslujuus [kPa]	Aktiivipainakerroin, K_a	Passiivipainakerroin, K_p
Penger	20	38	0	0,2	9
Savi	15	0	10	1	1
Kitkamaa	21	39	0	0,2	9
Savi tehokas	5				
Kitkamaa tehokas	11				
Adheesiokerroin	0,3				

Hyötykuorma	Hyötykuorma, q [kPa]	Etäisyys reunasta [A (RIL 121-2004)]	Kuorman leveys [B (RIL 121-2004)]
	20	1	8
Laskennallinen hyötykuorma	20		
$Q = (q \cdot B \cdot 1 \text{ m})$ [kN]	160		
Maapainekuvaajan yläpinnan etäisyys pinnasta	0,78		
Maapainekuvaajan alapinnan etäisyys pinnasta	9		

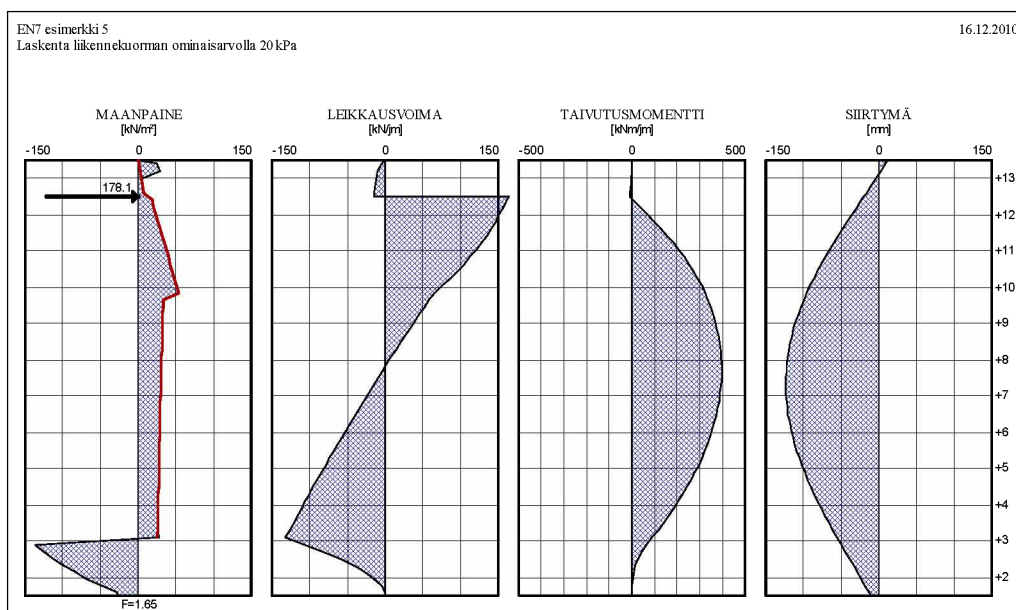
Momenttien suhde	Σ Momentit aktiivipuoli =	Σ Momentit passiivipuoli =	Varmuus =
	6375 kNm (ΣM_a)	10431 kNm (ΣM_p)	1,64 ($\Sigma M_p / \Sigma M_a$)

Osavarmuusluvut		Arvot taulukosta A.3a(F1) ja A.13(F1) Eurokoodin soveltamisohje - NCCI 7 (28.12.2010)			
Maapaine, aktiivipuoli	$\gamma_{G;dst}$ 1,00	$\gamma_{G;stb}$	$\gamma_{G;dst}$	$\gamma_{Q;dst}$	
Maapaine, passiivipuoli	$\gamma_{G;stb}$ 1,00	0,9	1,35	-	
Vedenpaine, aktiivipuoli	$\gamma_{G;dst}$ 1,00	2	0,9	1,15	1,35
Vedenpaine, passiivipuoli	$\gamma_{G;stb}$ 1,00				
Muuttuva kuorma	$\gamma_{Q;dst}$ 1,00	Tapa 2	0,667	1	1
		Passiivipuoli jaetaan $\gamma_R; e=1,5$			



Kuva 13 Kokonaisvarmuus momenttitasapainoehdon mukaan 1,64

Alla on esitetty ominaisarvoilla lasketut seinän maanpaineet ja voimasuureet:



Kuva 14 Ominaisarvoilla lasketut arvot

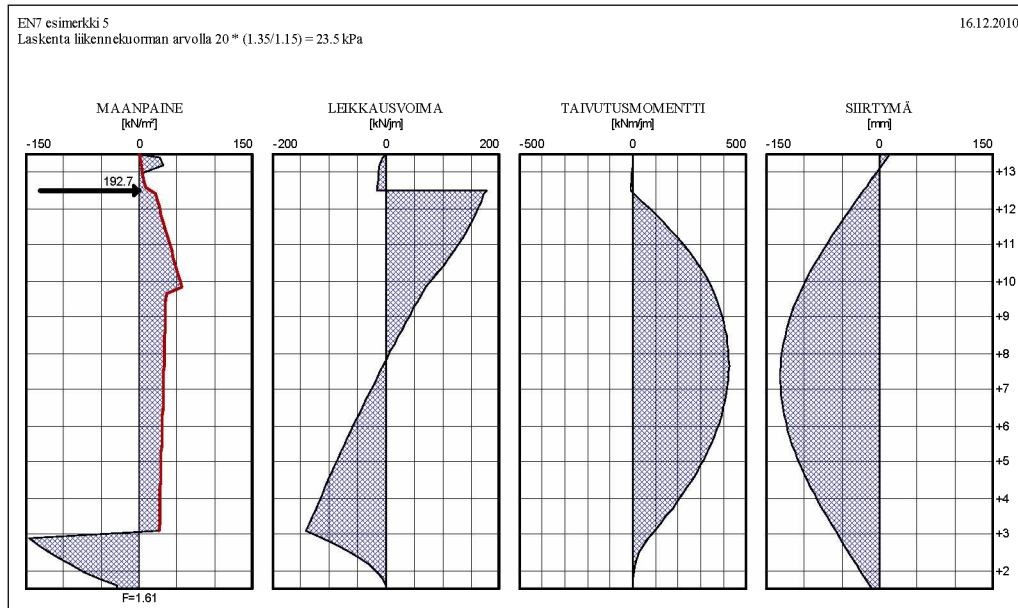
6.3 Rajatilan STR/GEO tarkastus

SEINÄN VOIMASUUREET JA ANKKURIVOIMA:

Mitoitus tehdään mitoitusmenetelmän DA2* mukaan. Kuorman osavarmuusluvut saadaan taulukosta A.3a(FI). Maanpaineiden ja voimasuureiden laskennassa ei käytetä muita osavarmuuslukuja. Taulukon A.3a(FI) mukaisesti rajatila pitää tarkastaa kahdelle eri tapaukselle 6.10a ja 6.10b.

Tarkastelu yhtälön 6.10b mukaan:

Kappaleessa 5.4.1.5 on esitetty kaksi vaihtoehtoista tapaa suorittaa laskenta jousimallilla. Käsitellään ensin vaihtoehtoa 1. Laskenta suoritetaan ominaisarvoilla lukuun ottamatta muuttuvaa kuormaa, joka kerrotaan arvolla γ_Q/γ_G , missä γ_Q on muuttuvan kuorman osavarmuusluku ja γ_G on pysyvän kuorman osavarmuusluku. γ_Q/γ_G on $1,35/1,15 = 1,17$.



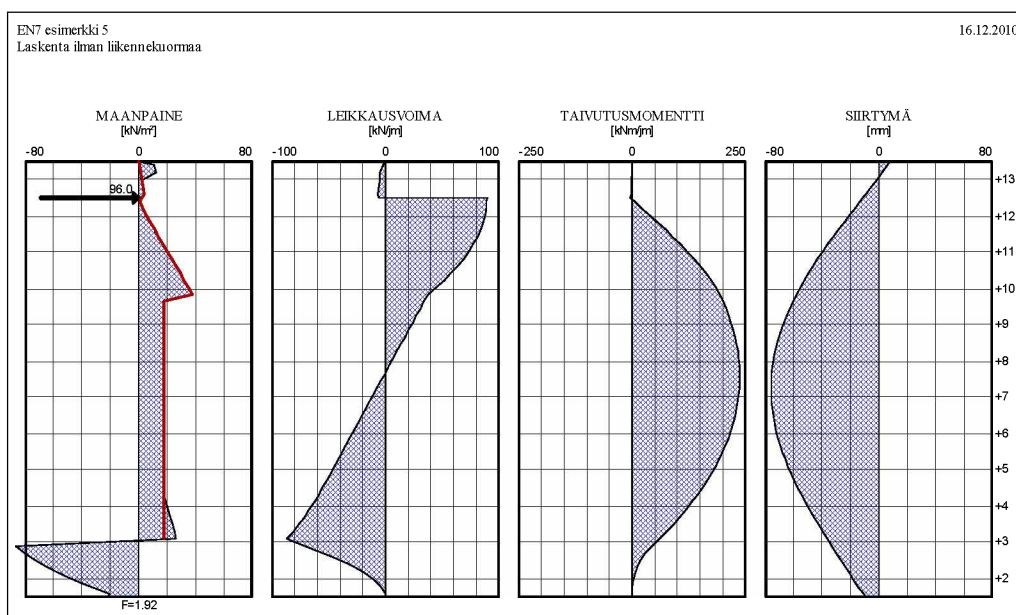
Kuva 15 Maanpainelaskelman välitulos kun muuttuva kuorma on kerrottu arvolla γ_Q/γ_G

Lopulliset mitoitusarvot saadaan kertomalla kuvan 14 tulokset pysyvän kuorman osavarmuusluvulla $\gamma_G = 1,15$. Alla on esitetty seinän voimasuureiden mitoitusarvot yhtälön 6.10b mukaisilla kuormien osavarmuusluvuilla:

Taulukko 21

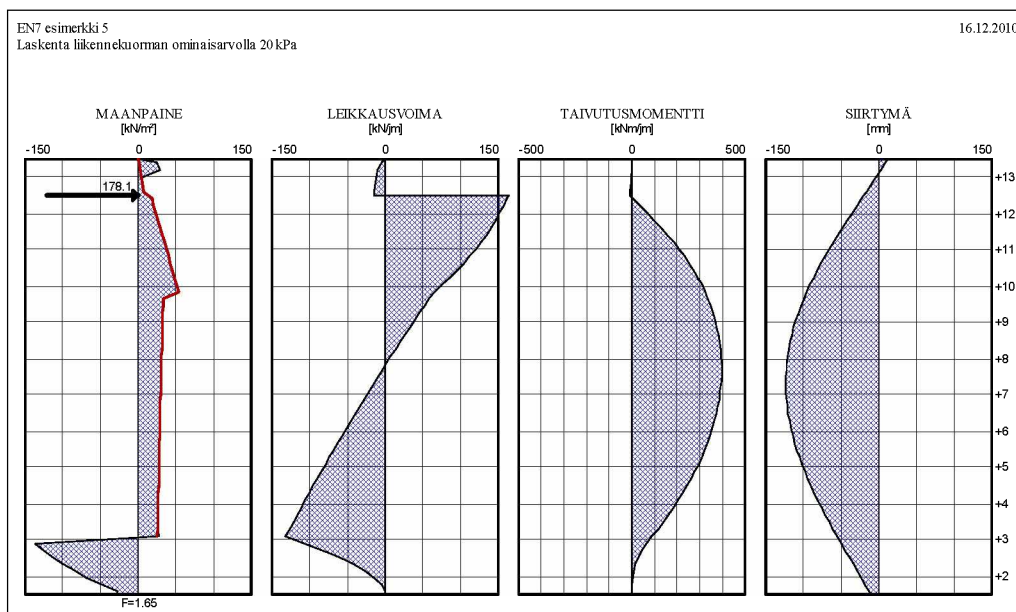
Taivutusmomentin maksimiarvo [kNm/jm]	Leikkausvoiman maksimiarvo [kN/jm]	Ankurivoiman vaakakomponentin maksimiarvo [kNm/jm]
$1,15 \cdot 423 = 486$	$1,15 \cdot 177 = 204$	$1,15 \cdot 193 = 222$

Suoritetaan sitten laskelmat vaihtoehdon 2 mukaisesti. Laskenta suoritetaan ensin ilman liikennekuormaa.



Kuva 16 Maanpainelaskelman tulos ilman liikennekuormaa.

Seuraavaksi lasketaan liikennekuorman vaikutus.



Kuva 17 Maanpainelaskelman tulos liikennekuorman ominaisarvolla.

Kuvassa 16 on esitetty liikennekuorman ja maanpaineen yhteisvaikutus. Pelkästään liikennekuormasta aiheutuva vaikutus saadaan kuvien 15 ja 16 arvojen erotuksena. Koska maksimi-arvot sijaitsevat samoilla syvyyksillä, voidaan ne vähentää toisistaan suoraan. Mikäli maksimi-arvot sijaitisivat eri syvyyksillä tai haluttaisiin tietää rasi-tuksien mitoitusarvot koko seinän syvyydeltä, pitäisi vähennyslasku suorittaa syvyy-s-tasoittain. Eli kaavana kokonaisvaikutus = liikennekuorman vaikutus + maanpaineen vaikutus => liikennekuorman vaikutus = kokonaisvaikutus - maanpaineen vaikutus. Alla on esitetty seinän voimasuureiden ominaisarvot.

Taulukko 22

	Taivutusmomentin maksimiarvo [kNm/jm]	Leikkausvoiman maksimiarvo [kN/jm]	Ankkurivoiman vaa- kakomponentin maksimiarvo [kNm/jm]
Ilman liikenne- kuormaa (pysyvät kuormat)	237	90	96
Liikennekuormalla (sekä pysyvät että muuttuvat kuor- mat)	395	164	178
Liikennekuorman vaikutus (muuttuva kuorma)	$395 - 237 = 158$	$164 - 90 = 74$	$178 - 96 = 82$
yhdistetty mitoi- tusarvo	$1,15 \cdot 237 + 1,35 \cdot 158$ = 486	$1,15 \cdot 90 + 1,35 \cdot 74$ = 203	$1,15 \cdot 96 + 1,35 \cdot 82 =$ 221

Taulukoista 21 ja 22 nähdään, että tässä esimerkkitapauksessa vaihtoehtoisilla mitoitusavoilla päädytään lähes samaan lopputulokseen.

Tarkastelu yhtälön 6.10a mukaan:

Yhtälössä 6.10a tarkastetaan varmuus pelkkien pysyvien kuormien suhteen. Osavarmuusluku on 1,35. Taulukosta 22 saadaan pelkillä pysyvillä kuormilla lasketut voimasuureet. Näiden perusteella saadaan:

Taulukko 23

	Taivutusmomentin maksimiarvo [kNm/jm]	Leikkausvoiman maksimiarvo [kN/jm]	Ankkurivoiman vaakakomponentin maksimiarvo [kNm/jm]
Ilman liikenne- kuormaa (pysyvät kuormat)	159	65	69
Mitoitusarvo	$1,35 \cdot 237 =$ 320	$1,35 \cdot 90 =$ 122	$1,35 \cdot 96 =$ 130

Lopputulos voimasuureiden osalta:

Tuloksesta nähdään, että yhtälö 6.10b on mitoittava. Rakenteellinen mitoitus perustuu näihin mitoitusarvoihin, eikä niihin enää jatkossa kohdisteta kuorman osavarmuuslukuja.

SEINÄN KOKONAISSTABILITEETIN LASKENTA:

Kokonaisvakavuus / upotus syvyyden riittävyys tarkastetaan mitoitusmenetelmän DA3 mukaan. Kuormapuolen varmuus sijoitetaan kuormien edustaviin arvoihin ja kestävyys puolella varmuus sijoitetaan lujuusparametrien ominaisarvoihin. Osavarmuusluvut saadaan kuormien osalta taulukoista A.3b(FI). Taulukon mukaisesti pysy-

vän kuorman osavarmuusluku on 1,0 ja tieliikennekuorman 1,15. Kyseessä on normaali tapaus, jolloin seuraamusluokka on CC2 ja K_{FI} sa arvon 1,0.

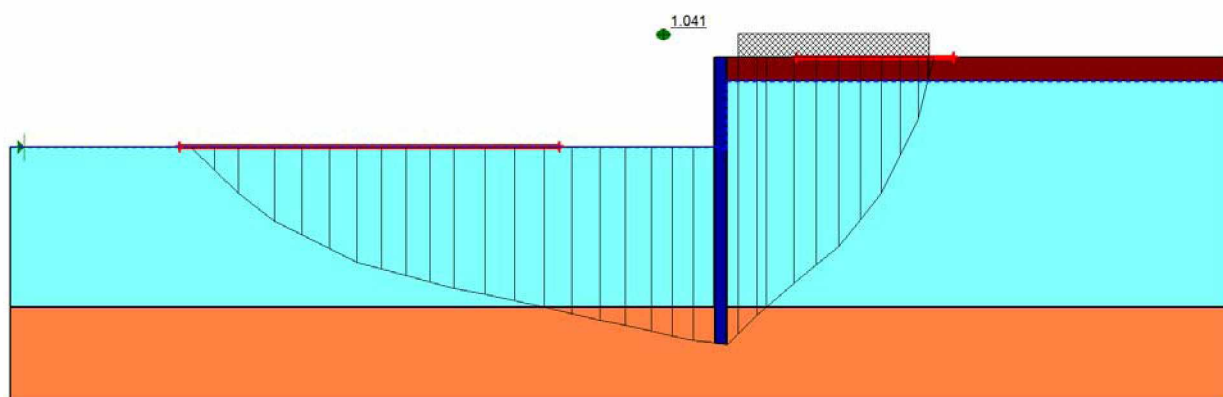
$$Q_d = \gamma_Q \cdot Q_k = 1,15 \cdot 20 \text{ kPa} = 23 \text{ kPa}$$

Maaparametrien osalta käytetään taulukon A.4(FI) sarjan M2 arvoja:

Taulukko 24

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyysskulma [°]	Suljettu leikkaus- lujuus [kPa]
Osavarmuusluku γ_M	1	$\gamma_{\varphi'}$ 1,25	γ_{cu} 1,4
Penger	20	32,00	0
Savi	15	0	7,14
Sora	21	32,93	0

Alla on esitetty Morgenstern – Price menetelmällä laskettu ODF.



Kuva 18 ODF Morgenstern – Price menetelmällä 1,04 pohjavedenpinnan ollessa rakennekerrosten alapinnassa

Laskennan tuloksena voidaan todeta, että penkereen stabiileetti täyttää vaatimuksen $ODF \geq 1,0$ (5.5.1), mikäli seinän taakse rakennetaan luotettava kuivatus järjestelmä rakennekerrosten alapinnan tasoon asti (5.4.1.1).

SEINÄN UPOTUSSYVYYDEN LASKENTA:

Alla on esitetty upotussyvyyden tarkastus momenttitasapainoehdolla. Mitoitusmenetelmänä on DA2*. Aktiivipaineita ja vedenpaineita käsitellään kuormina ja passiivipainetta kestävytenä. Osavarmuusluvut saadaan taulukoista A.3a(FI) ja A.13(FI).

Tarkastelu yhtälön 6.10a mukaan:

Tukiseinä savikolla

Ohjelma laskee maapaineen ja viivakuormituksen aiheuttamat momentit ankkuripisteen suhteen.
 Varmuus on pystytessä pitävien ja kaatavien momenttien suhde.
 Vihreät luvut ovat lähtötietoja.

Geometrinen malli
 Penkereen paksuus [m]
 Saven paksuus [m]
 Kaivannon syvyys [m]
 Tukiseinän pituus [m]

1
 9,5
 3,74
 12

Oletukset: Savi kitkamaakerroksen päällä. Vedenpinta kaivannossa on kaivannon pohjan tasolla. Vedenpinta seinän takana on penkereen alapinnan tasossa. Yksi tuki sijaitsee penkereen alapinnan tasossa.

Maaparametrit

	Tilavuuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyys-kulma φ [°]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]	Aktiivipainekerroin, K_a	Passiivipainekerroin, K_p
Penger	20	38	0	0,2	9
Savi	15	0	10	1	1
Kitkamaa	21	39	0	0,2	9
Savi tehokas	5				
Kitkamaa tehokas	11				
Adheesiokerroin	0,3				

Hyötykuorma
 Hyötykuorma, q [kPa]
 Etäisyys reunasta [A (RIL 121-2004)]
 Kuorman leveys [B (RIL 121-2004)]
 Laskennallinen hyötykuorma
 $Q = (q \cdot B \cdot 1 \text{ m})$ [kN]
 Maapainekuvaajan yläpinnan etäisyys pinnasta
 Maapainekuvaajan alapinnan etäisyys pinnasta

0
 1
 8
 0
 0
 0,78
 9

Momenttien suhde
 Σ Momentit aktiivipuoli = 8061 kNm (ΣM_a)
 Σ Momentit passiivipuoli = 8871 kNm (ΣM_p)
Varmuus = 1,10 ($\Sigma M_p / \Sigma M_a$)

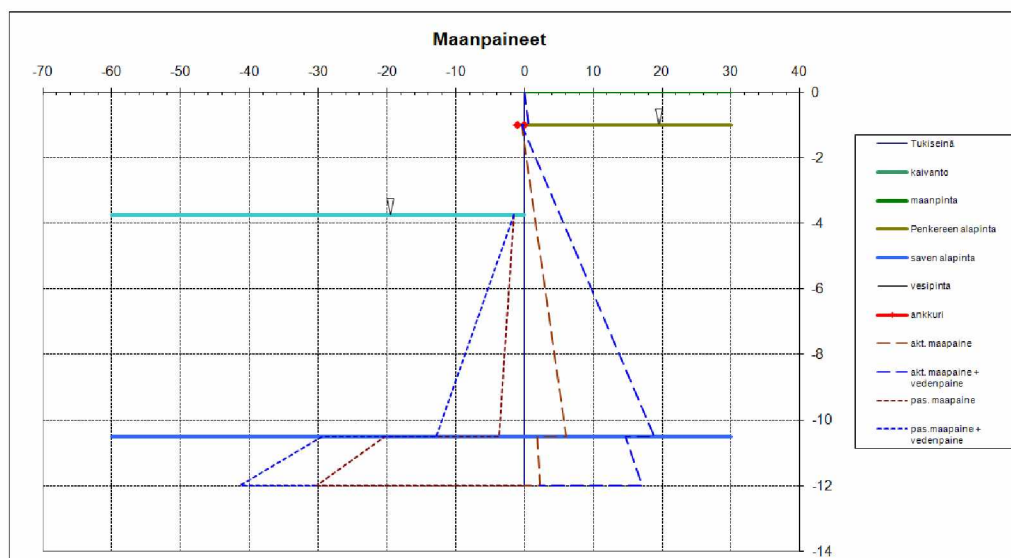
Osavarmuusluvut

Maapaine, aktiivipuoli	$\gamma_{G;dst}$	1,35
Maapaine, passiivipuoli	$\gamma_{G;stb}$	0,67
Vedenpaine, aktiivipuoli	$\gamma_{G;dst}$	1,35
Vedenpaine, passiivipuoli	$\gamma_{G;stb}$	1,35
Muuttuva kuorma	$\gamma_{Q;dst}$	1,00

Arvot taulukosta A.3a(F1) ja A.13(F1) Eurokoodin soveltamisohje - NCCI 7 (28.12.2010)

	$\gamma_{G;stb}$	$\gamma_{G;dst}$	$\gamma_{Q;dst}$
Mitoitustapa DA2(*)	1	0,9	1,35
	2	0,9	1,15

 Maan kestävyys $\gamma_{R;e}=1,5$ 0,667



Kuva 198 ODF momenttitasapaino menetelmällä 1,10 kaavan 6.10a mukaan

Tarkastelu yhtälön 6.10b mukaan:

Tukiseinä savikolla

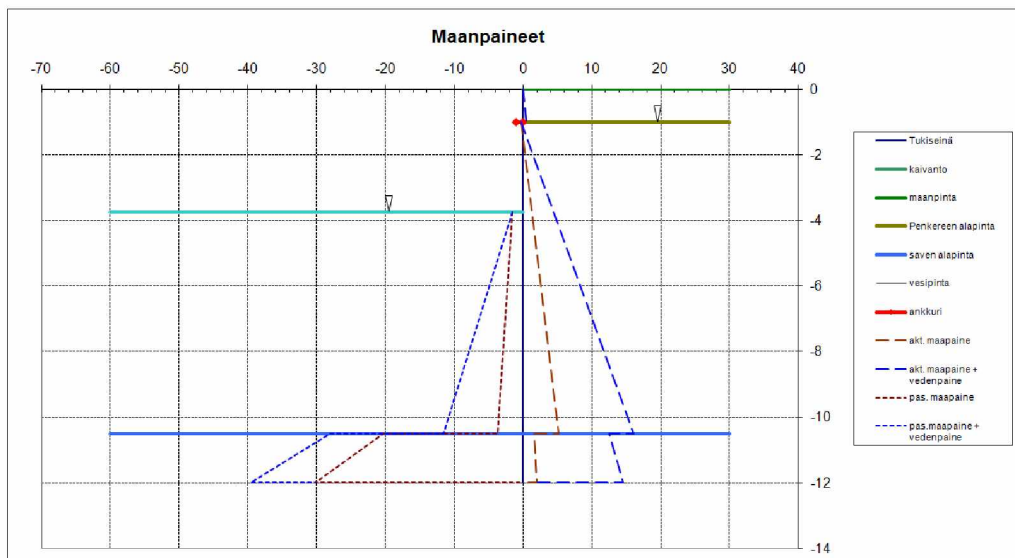
Ohjelma laskee maapaineen ja viivakuormituksen aiheuttamat momentit ankkuripisteen suhteen.
Varmuus on pystyssäpitävien ja kaatavien momenttien suhde.
Vihreät luvut ovat lähtötietoja

Geometrinen malli		Oletukset: Savi kitkamaakerroksen päällä. Vedenpinta kaivannossa on kaivannon pohjan tasolla. Vedenpinta seinän takana on penkereen alapinnan tasossa. Yksi tuki sijaitsee penkereen alapinnan tasossa.	
Penkereen paksuus [m]	1		
Saven paksuus [m]	9,5		
Kaivannon syvyys [m]	3,74		
Tukiseinän pituus [m]	12		

Maaparametrit					
	Tilavuspaino [kN/m ³]	Leikkauskestävyys-kulma [astetta]	Suljettu leikkauslujuus [kPa]	Aktiivipainakerroin, K _a	Passiivipainakerroin, K _p
Penger	20	38	0	0,2	9
Savi	15	0	10	1	1
Kitkamaa	21	39	0	0,2	9
Savi tehokas	5				
Kitkamaa tehokas	11				
Adheesiokerroin	0,3				

Hyötykuorma		Momenttien suhde	
Hyötykuorma, q [kPa]	20	Σ Momentit aktiivipuoli =	7412 kNm (ΣM _a)
Etäisyys reunasta [A (RIL 121-2004)]	1	Σ Momentit passiivipuoli =	8309 kNm (ΣM _p)
Kuorman leveys [B (RIL 121-2004)]	8		
Laskennallinen hyötykuorma	27		
Q = (q * B * 1 m) [kN]	216		
Maapainekuvaajan yläpinnan etäisyys pinnasta	0,78		
Maapainekuvaajan alapinnan etäisyys pinnasta	9		
		Varmuus =	1,12 (ΣM_p / ΣM_a)

Osavarmuusluvut		Arvot taulukosta A.3a(FT) ja A.13(FT) Eurokoodien soveltamisohje - NCCI 7 (28.12.2010)	
Maapaine, aktiivipuoli	γ _G ;dst 1,15	γ _G ;stb 0,9	γ _G ;dst 1,35
Maapaine, passiivipuoli	γ _G ;stb 0,67	γ _G ;dst 1,35	γ _G ;dst -
Vedenpaine, aktiivipuoli	γ _G ;dst 1,15	γ _G ;stb 0,9	γ _G ;dst 1,35
Vedenpaine, passiivipuoli	γ _G ;stb 1,15		
Muutuva kuorma	γ _Q ;dst 1,35		
		Maan kestävyys γ _R ;e=1,5	0,667



Kuva 19 ODF momenttitasapaino menetelmällä 1,12 kaavan 6.10b mukaan

Laskennan tuloksena voidaan todeta, että seinän upotussyvyys täyttää vaatimuksen $ODF \geq 1$.

